UNTERSUCHUNGEN

ÜBER DIE

FORTPFLANZUNGSGESCHWINDIGKEIT

DER REIZUNG

IN DER

QUERGESTREIFTEN MUSKELFASER.

Digitized by the Internet Archive
in 2016

https://archive.org/details/b22326303

UNTERSUCHUNGEN

ÜBER DIE

FORTPFLANZUNGSGESCHWINDIGKEIT

DER REIZUNG

IN DER

QUERGESTREIFTEN MUSKELFASER.

VON

DR. CH. AEBY.

MIT ELF ABBILDUNGEN IN HOLZSCHNITT.

BRAUNSCHWEIG:

DRUCK UND VERLAG VON GEORGE WESTERMANN.

1862.

HERRN PROFESSOR

E. DUBOIS-REYMOND

WIDMET DIESE ARBEIT

ALS ZEICHEN DER HOCHACHTUNG UND DANKBARKEIT

DER VERFASSER.

VORWORT.

Eine vorläufige Mittheilung über die in den folgenden Blättern besprochenen Verhältnisse ist schon früher gemacht worden. [1]) Ueber den Verlauf der neurogenen Zuckung enthält dieselbe Ungenauigkeiten, die ich hier um so weniger besonders glaube hervorheben zu müssen, als sie nun von selbst wegfallen; auch hatte ich mich nur mit der grössten Vorsicht ausgesprochen.

Ueber einige nach bereits erfolgtem Abschluss meiner Untersuchungen erschienene Werke nur wenige Worte. Durch eine von Leopold Auerbach gelieferte Arbeit „Ueber die Wirkungen topischer Muskelreizung“ (Abhandlungen der schlesischen Gesellschaft für vaterländische Cultur. Abtheilung für Naturwissenschaften und Medizin. 1861. Heft III. pag. 291—326) wird uns an Thatsachen wenig Neues geboten; dagegen erfahren wir, dass die im Muskel auftretende wellige Contraction wahrscheinlich idiomuskulär, die Zuckung nach topischer Reizung dagegen wahrscheinlich neuromuskulär ist. Ich kann mich darüber einfach auf das in meinem Schlusscapitel Gesagte beziehen. Die dort ausgesprochenen Anschauungen erhalten eine anatomische Stütze durch die neuesten Erfahrungen Kühne's, die ich freilich bis jetzt nur aus mündlichen Mittheilungen kenne, weshalb ich auf seine eigene ausführliche Darstellung „Ueber die peripherischen Endorgane der motorischen Nerven. Leipzig. 1862.“ verweisen muss. In vielfacher Beziehung berührt uns ein vor Kurzem erschienenes Werk v. Bezold's (Unters. über die elektrische Erregung der Nerven und Muskeln. Leipzig. 1861.).

[1]) Ueber die Fortpflanzungsgeschwindigkeit der Muskelzuckung. Archiv für Anat. und Phys. von Reichert und Dubois-Reymond. Jahrg. 1860. p. 253.

Leider war es mir zur Zeit nicht möglich, alle darin aufgestellten neuen Gesichtspunkte thatsächlich zu prüfen und weiter zu verfolgen. Nur für den einen, freilich den wichtigsten, konnte es geschehen; die Resultate, bei deren Gewinnung ich von Herrn Dr. Munk in Berlin auf das Freundschaftlichste unterstützt wurde, konnten in vorliegender Abhandlung noch nachträglich als besonderes Capitel aufgenommen werden. Herr v. Bezold kennt meine Methode, die Muskelzuckung in ihrem zeitlichen Verlauf zu erfassen, aus eigener Anschauung seit mehr denn zwei Jahren und beschreibt sie auch ganz richtig (a. a. O. pag. 236), aber er zieht ihr eine andere vor, „weil sie einen neuen, nicht einfachen Apparat erfordert hätte." Ich glaube, dass in diesem Falle die complicirtere Methode doch wesentliche Vortheile vor der einfacheren haben möchte.

Den Apparat hat nach meinen Entwürfen Herr Sauerwald in Berlin mit jener Meisterschaft ausgeführt, die alle aus seiner Werkstatt hervorgegangenen Instrumente kennzeichnet. Gern erkenne ich es an, dass seine geschickte Hand zum Gelingen meines Unternehmens wesentlich beigetragen.

Zu ganz besonderm Danke aber fühle ich mich dem Vorsteher des physiologischen Institutes in Berlin, Herrn Professor Dubois-Reymond, verpflichtet. Dankbar bekenne ich es, dass erst seine Leitung mir jene Sicherheit des Experimentirens verschafft hat, die zu dergleichen Arbeiten erforderlich ist. Seiner freundlichen Unterstützung und seinen auf reiche Erfahrung gegründeten Rathschlägen schreibe ich es zu, dass die Ausführung des längst gehegten Planes gleich anfangs einen günstigen Verlauf nahm. Möge Derselbe daher auch gestatten, dass ich seinen Namen an die Spitze des Ganzen stelle, dass ich Ihm zunächst eine Frucht biete, wozu unter seinen Augen der Same gelegt wurde. Möge Er in seinen Hoffnungen sich nicht getäuscht finden!

Basel, im December 1861.

Der Verfasser.

I.

EINLEITUNG.

Die Erforschung des Muskel- und des Nervensystems scheint mehr und mehr das Schosskind der neuern Physiologie werden zu wollen. Eine solche Vorliebe ist um so erklärlicher, als hier das Geheimniss des thierischen Lebens in einer Reihe der zierlichsten Erscheinungen besonders lockend uns entgegentritt. Vieles ist bereits geleistet worden, mehr noch bleibt zu leisten übrig. Ueber den Zusammenhang zwischen Muskel und Nerv wissen wir so viel wie nichts; um so erwünschter muss darum jede neue Erkenntniss sein, die damit irgendwie in Verbindung steht. Den Kern der ganzen Frage bildet die Verkürzung des Muskels, aber bis in die Neuzeit zieht sich der Streit, ob solches nur vom Nerv aus geschehen könne oder nicht. In dieser Beziehung ist es gewiss nicht ohne Bedeutung, zu wissen, wie der Reiz unter verschiedenen Verhältnissen in der contractilen Substanz sich fortpflanzt. Es ist dies ein Punkt, der bis jetzt einer directen experimentellen Prüfung noch nicht unterworfen worden ist. Helmholtz hatte nur den allgemeinen zeitlichen Verlauf der Muskelzuckung in's Auge gefasst; aber in der Art und Weise, wie er die Fortpflanzungsgeschwindigkeit des Nervenreizes bestimmte, liegt Aufforderung genug, dasselbe auch für den Muskel zu versuchen.

Es ist immer gut, bevor man ein neues Gebäude aufführt, sich umzusehen, welche Grundlagen dazu etwa schon von frühern Forschern mögen gelegt worden sein. In unserm Falle bietet die Geschichte der Physiologie nur wenige brauchbare Anhaltspunkte. Die Gestaltsveränderung des Muskels nach Einwirkung

von Reizen irgend welcher Art fesselte wohl alle Forscher und manche bemühten sich auch, das geheimnissvolle Wesen dieser Erscheinung durch mehr oder minder scharfsinnige Theorien zu erläutern, aber nur wenige sprachen sich darüber aus, ob die lebendige Bewegung des Muskels von allen seinen Theilen gleichzeitig ausgehe, oder aber, ob sie in bestimmten Punkten beginnend auf die entferntern sich übertrage. Dergleichen Feinheiten liegen überhaupt der ältern Physiologie ferner, die sich gern mit blitzartig schnellen Bewegungen und unmessbar kurzen Zeiten begnügt. Hamberger[1]) ist meines Wissens einer der Ersten, der sich über die Contractionsweise des Muskels ausspricht, und zwar in dem Sinne, dass er ihn gleichzeitig von allen seinen Theilen in Bewegung gerathen lässt. Ihm ist die Verkürzung das Product einer Vermischung des Nervengeistes mit dem Muskelblute; er schildert den Apparat, durch den es möglich ist, dass beide durch den ganzen Muskel hindurch gleichzeitig miteinander in Berührung kommen; deshalb findet er es auch erklärlich, dass ein grosser Muskel zu seiner Verkürzung keine grössere Zeit als ein kleiner bedarf. In gleichem Sinne äussert sich schon früher Steno[2]), wenn ich anders die Stelle richtig verstehe; er beschränkt sich übrigens auf die Angabe, dass die Muskelfasern (carnes l. c. p. 13) bei der Contraction in ihrer ganzen Länge gleichmässig sich verändern; den Beweis, den er dafür zu leisten verspricht, habe ich nicht auffinden können. Dagegen wird der Gegenstand ziemlich weitläufig von Borelli[3])

---

[1]) G. E. Hamberger, Physiologia medica, pag. 593. §. 1169. Jenae. 1751. Cum motus musculorum fiant ad voluntatem hominis tempore insensibili, ut etiam miscela spirituum cum sanguine tantillo temporis spatiolo fiat necesse est. Hoc vero requirit, ut sanguis non solum in minutissimis haereat cavis, verum etiam ut in quamlibet talem cavitatem minutissimam abeat nervus, qui spiritus eo deferat, sic enim maximus aeque ac minimus musculus aeque celeriter intumescere potest.

[2]) N. Stenonis Elementorum Myologiae specimen, pag. 26. Amstelodami. 1669. Dum contrahitur musculus, singulae carnes toto ductu aequaliter mutantur, ac breviores fiunt.

[3]) Jos. Alph. Borelli, De motu animalium. Pars secunda, propo-

behandelt. Seine Ansicht stimmt im Wesentlichen mit der von Hamberger überein. Die Contraction des Muskels beruht auf dem Gegensatze des alkalischen Blutes und des sauern Nervensaftes, deren Vermischung von einem Aufbrausen begleitet wird. Dies kann aber nur dann rasch geschehen, wenn beide in thauartig fein vertheiltem Zustande aufeinander treffen; daher eine äusserst feine Verästelung des Nerven durch den ganzen Muskel hindurch, welche an allen Stellen gleichzeitig das Aufbrausen gestattet. — Diesen Ansichten gegenüber wurden schon frühzeitig andere laut. Baglivi[1]) glaubte beobachtet zu haben, dass bei der Verkürzung des Muskels die Bewegung zuerst in der Mitte seines Bauches auftrete, um gegen die Sehnen hin sich zu verlieren, und dass durch Umschnürung der genannten

---

sitio XXVIII, pag. 220. Neapoli. 1734. At si artificio aliquo innumerae particulae spiritus salini ad instar roris caderent super alium salinum succum, fieri posset momentanea effervescentia, cito nempe consumtis spiritibus illis: Et perseverare posset per aliquod tempus illa effervescentia, si denuo nova pluvia rorifera succederet saepius reiterata. — Id ipsum in musculis verificari posse videtur, quia filamenta nervosa multiplicia ad instar radicum arboris, non a tendinibus, sed a trunco illius rami nervei, qui in praedictum musculum inseritur, sparguntur inter musculi fibras, et ab eorum orificiis simul tempore ob convulsivam irritationem effundi possunt guttulae minutissimae spirituum, quae omnes cum sanguine in musculis existente momentaneam effervescentiam concipere possunt ad instar accensionis nitrati pulveris; talis autem ebullitio ex sui natura subito cessare potest, consumptis nimirum spirituosis illis guttulis: et eatenus perseverare potest, quatenus novis, et assidue repetitis convulsivis irritationibus, novae effusiones roriferae spirituum, et inde cum sanguine novae effervescentiae, et hinc inflationes pororum musculi, et tandem valida ejus contractio continuata produci potest.

[1]) G. Baglivi, Opera omnia, pag. 321. De fibra motrice Cap. VIII. Lugduni. 1704. . . . quam quidem vim (sc. contractionis) in medio musculi suam tantum exercere energiam identidem observavi, cum nihilo minus immoti omnino tendines permanerent: Unde aperte satis colligere datum est principium motus in medio musculi incipere, in tendines autem desinere. Quod si per acum trajecto filo musculum adeo comprehenderis, ut musculi ventrem valeas colligare, tum videbis, vel adstricto nodo contractiones toto in musculo cessare, atque languescere, vel paulisper relaxato, ad pristinum rursus motum redire. Ex quo clare patet, ut diximus, principium motus de musculi medio ortum ducere, deficere vero in tendines.

Stelle mit einem Faden die Formveränderung nicht allein geschwächt, sondern selbst ganz aufgehoben werden könne. Er glaubt sich deshalb berechtigt, anzunehmen, dass die Bewegung von der Mitte gegen das Ende zu fortschreite. Ganz ähnlich wird der Sachverhalt später von Haller [1]) geschildert, indem er angibt, dass bei der Verkürzung die Muskelfasern von den Enden gegen die Mitte zu und bei der Erschlaffung in umgekehrter Richtung verlaufen. Der berühmte Physiologe urtheilte nach dem blossen Augenschein an Muskeln, die an beiden Seiten gleich befestigt sind, an den intercostales, am diaphragma, am Herzen. Die Folge der Verkürzung bedingt dann allerdings das geschilderte Phänomen, aber es ist damit nicht gesagt, dass sich Haller deshalb auch die Verkürzung selbst als eine ungleichzeitige, in der beschriebenen Weise fortschreitende gedacht habe. Entscheiden lässt sich darüber nichts, da er sich nirgends bestimmter ausgesprochen zu haben scheint.

Ein Anklang an dieselbe Lehre tritt auch noch bei Dumas [2]) hervor, nur dass er unbestimmte Wellenbewegungen hinzufügt, die anfänglich von der Mitte des Muskels zu dessen Ende und

---

[1]) A. v. Haller, Elementa physiologiae. Tom IV. Lib. XI. Sect. II. §. 17. pag. 471. Lausannae. 1762. Primum quidem tractio aliqua in musculorum lacertis fibrisque observatur, qua celeriter a finibus ad centrum excurrunt, et paulo post ab eo centro ad fines recedunt. Summa est celeritas succedentis utriusque tractionis, ut tempuscula definire vix liceat. Vidi in musculis intercostalibus, vidi in diaphragmate, et in corde similia eveniunt.

Ibid. p. 480. §. XXIV (Musculi relaxatio) ... fibrae musculorum a medio recedunt versus suos fines.

[2]) Ch. L. Dumas, Principes de Physiologie. II. éd. Tom. IV. pag. 213. Paris 1806. Le mouvement musculaire offre les mêmes phénomènes que l'irritabilité. Il commence d'abord par des ondulations incertaines; le muscle semble se livrer à des alternatives irrégulières, vagues de flux et reflux; ses fibres sont entraînées du centre aux extrémités et des extrémités au centre, jusqu'à ce qu'enfin les oscillations vers le centre l'emportent et décident la contraction de la masse charnue entière. — Cette succession rapide de mouvemens oscillatoires, difficile à saisir chez les animaux robustes, est beaucoup plus appréciable chez ceux, dont la construction est faible, ou dont la vie languissante touche au moment de s'éteindre.

umgekehrt vom Ende zur Mitte verlaufen, bis die letztere Bewegung schliesslich überwiegt und die Verkürzung des ganzen Gebildes bedingt. Bedeutungsvoll hebt er hervor, dass die Erscheinung bei kräftigen Individuen schwer zu erfassen sei, bei geschwächten und dem Tode nahen jedoch viel leichter sich beobachten lasse. Für eine solche unstäte, ja sogar peristaltische Bewegung hatte sich übrigens schon viel früher Roger [1]) ausgesprochen, obgleich eine bestimmte Entscheidung der Sache ihm kaum möglich schien. Ihm ist überhaupt der Zustand der Verkürzung keine einfache Gestaltveränderung, sondern das Resultat zahlreicher hin- und hergehender Wellen, so dass ein fortwährendes Schwanken um eine mittlere Gleichgewichtslage stattfinde. Noch weiter wurde diese Lehre von Ficinus [2]) entwickelt und zugleich so umgewandelt, dass er die Verkürzung des Muskels durch fortschreitende Wellen entstehen lässt, die

---

[1]) Jos. Lud. Roger, Specimen physiolog. de perpetua fibrarum muscul. palpitatione. Gottingae. 1760. Pag. 17. §. 49. Qua directione fiat motus fibrillaris; an vibrando, uti chorda; aut tremendo, uti solida percussa; an vermiculari reptatu, certo vix determinari potest.

Pag. 19. §. 52. Videtur potius consistere in peristaltico quasi motu fibrillae.

Pag. 15. §. 43. Nempe, patet inde causam seu principium contrahens musculares fibrillas, eas non in puncto fixo contractas sistere; sed quasi impulsu vaccillatorio ad actionem ciere; unde fibrillae musculi contracti eant et redeant, ultra punctum fixum contractionis.

[2]) H. R. Ficinus, Diss. inaug.: De fibrae muscul. forma et structura. Lipsiae. 1836. Pag. 32. Quando nimirum inspirationem agebat animal lineae prominentes transversales in musculi fine utroque oriebantur, celeriter sibi occurrebant et in centro concurrentes non redibant, sed veluti undae se decussantes, sive, ut ita dicam, interferentes apparebant. Ceterum hoc phaenomenon undarum motui in fluidi alicujus superficie, vel in fune extenso excitato tantopere respondere videbatur, ut musculorum contractionem in sola fibrarum oscillatione concinna ponendam crederem. Lineae enim illae transversae omnino undarum lineas lapide in aquam dejecto excitatas imitantur ac multo magis undis in fune vel fascia alia extensa progredientibus, eodem fere modo alia aliam sequitur, procedunt, et sibi obviae se invicem interferunt. Ut mihi quidem visum et novae undae in finibus musculi oriri non desinebant, donec primae illae ab altero fine procedentes ad oppositum usque progressae essent, quo fiebat, ut tum in omnibus musculi particulis undulae sibi obviae se interferrent et ita duplo elevatae summum contractionis gradum assequerentur.

mit denjenigen eines angestossenen Seiles übereinstimmen. Die Wellen entstehen von beiden Faserenden, so dass zwei entgegengesetzt laufende und miteinander interferirende Reihen sich erzeugen. Gegen solche Wellenbewegungen hatte bereits Magendie[1]) Einsprache erhoben. Noch bestimmter aber trat allen derartigen Ansichten Ed. Weber[2]) entgegen, indem er, gestützt auf mikroskopische Beobachtung eines sich contrahirenden Muskels, eine durchaus gleichzeitige Contraction sämmtlicher Abschnitte einer Muskelfaser behauptete. Dass die vorgebrachten Gründe für diese Ansicht nicht beweisend sind, liegt auf der Hand; die Zeitunterschiede könnten eben so gering sein, dass sie der directen Beobachtung sich entzögen. Auch hatte schon lange vorher Rudolphi[3]) unter dem Mikroskope eine isolirte Contractionswelle über die Muskelfaser laufen sehen, und R. Wagner[4]) betrachtete solche als die Vorboten einer jeden normalen Verkürzung. Endlich legte Bowmann[5]) zu dieser Ansicht festere Grundlagen; ja er fasst sogar die ganze Contraction als eine rasche Aufeinanderfolge wellenförmiger Gestaltsveränderungen auf. Eine in neuerer Zeit von Schiff[6]) gemachte Beobachtung neigte die Wagschale ebenfalls nach dieser Seite hin. Er sah von seinem idiomuskulären Wulste aus Contractionswellen nach beiden Seiten hin verlaufen und schloss daraus, dass überhaupt jede Verkürzung nur eine scheinbar gleichzeitige, in der That aber eine aus zahlreichen interferirenden

[1]) F. Magendie, Précis élém. de physiol. Tom. I. pag. 189. Paris. 1816. Quand un muscle se contracte, ses fibres se raccourcissent, se durcissent plus ou moins brusquement, et sans qu'il y ait aucune oscillation ni hésitation préparatoire.

[2]) Handwörterbuch der Physiologie. III. Band 2. Abth. Art. Muskelbewegung. pag. 66, 67, 120. Braunschweig, 1846.

[3]) Rudolphi, Grundriss der Physiologie. II. Bd. pag. 290. Berlin. 1823.

[4]) R. Wagner, Lehrbuch der speciellen Physiologie. p. 432. Leipzig. 1842.

[5]) On the minute structure and Movements of Voluntary muscle. By William Bowmann. Philosophical transactions. For the year 1840. Part. I. pag. 457 — 501.

[6]) J. M. Schiff, Lehrbuch der Physiologie des Menschen. I. Bd. pag. 26. Lahr. 1858/1859.

Wellen zusammengesetzte sei. Wenn wir alle Erscheinungen zusammenfassen, so besitzt eine solche Anschauungsweise gewiss viel Ansprechendes, direct bewiesen ist sie freilich nicht. Vor Allem muss der Nachweis geliefert sein, dass auch die scheinbar gleichzeitige Contraction in der That nur eine fortschreitende ist; denn gegen die direct unter dem Mikroskope gesehenen Wellen liesse sich noch immer der Einwand geltend machen, dass es sich nur um Leichenerscheinungen handle, die allerdings, wie Valentin[1]) sich ausdrückt, vielleicht auf gewissen Ueberresten der vitalen Thätigkeit beruhen möchten.

So sehen wir denn eine bestimmtere Gestaltung, eine schärfere Fassung der ganzen Frage erst in neuester Zeit sich geltend machen. Erst da fängt man an, den localen Reiz von dem allgemeinen zu trennen, die Nervenreizung und die directe Muskelreizung als verschieden aufzufassen. Da erst geht man auch mit aller Entschiedenheit auf das Verhalten der Elementartheile, der Muskelfasern selbst zurück. Demnach wird auch das Experiment mehr und mehr ein feineres, in seinen Grundbedingungen bewussteres. Anfänglich genügte der rohe Augenschein; man entschied sich nach zufälligen Vorkommnissen und je nachdem man auf den einen oder den andern Punkt mehr Gewicht legte, für diese oder jene Ansicht und gestaltete danach seine Theorien. Eine gewisse Verschwommenheit charakterisirt diesen ganzen Zeitraum, so dass es nicht immer leicht ist, über die Ansicht des einzelnen Forschers in's Klare zu kommen. Man wird mich deshalb hoffentlich entschuldigen, wenn ich es nicht für überflüssig hielt, die Originalstellen selbst jedesmal mitzutheilen. Die neuere Entwicklung der Nerven- und Muskelphysiologie bahnte auch hier den Weg; wir haben es ihr zu danken, wenn wir jetzt das ganze Phänomen der Muskelverkürzung in seine einzelnen Constituenten zu zerlegen und nach organischem Plane zu untersuchen vermögen.

---

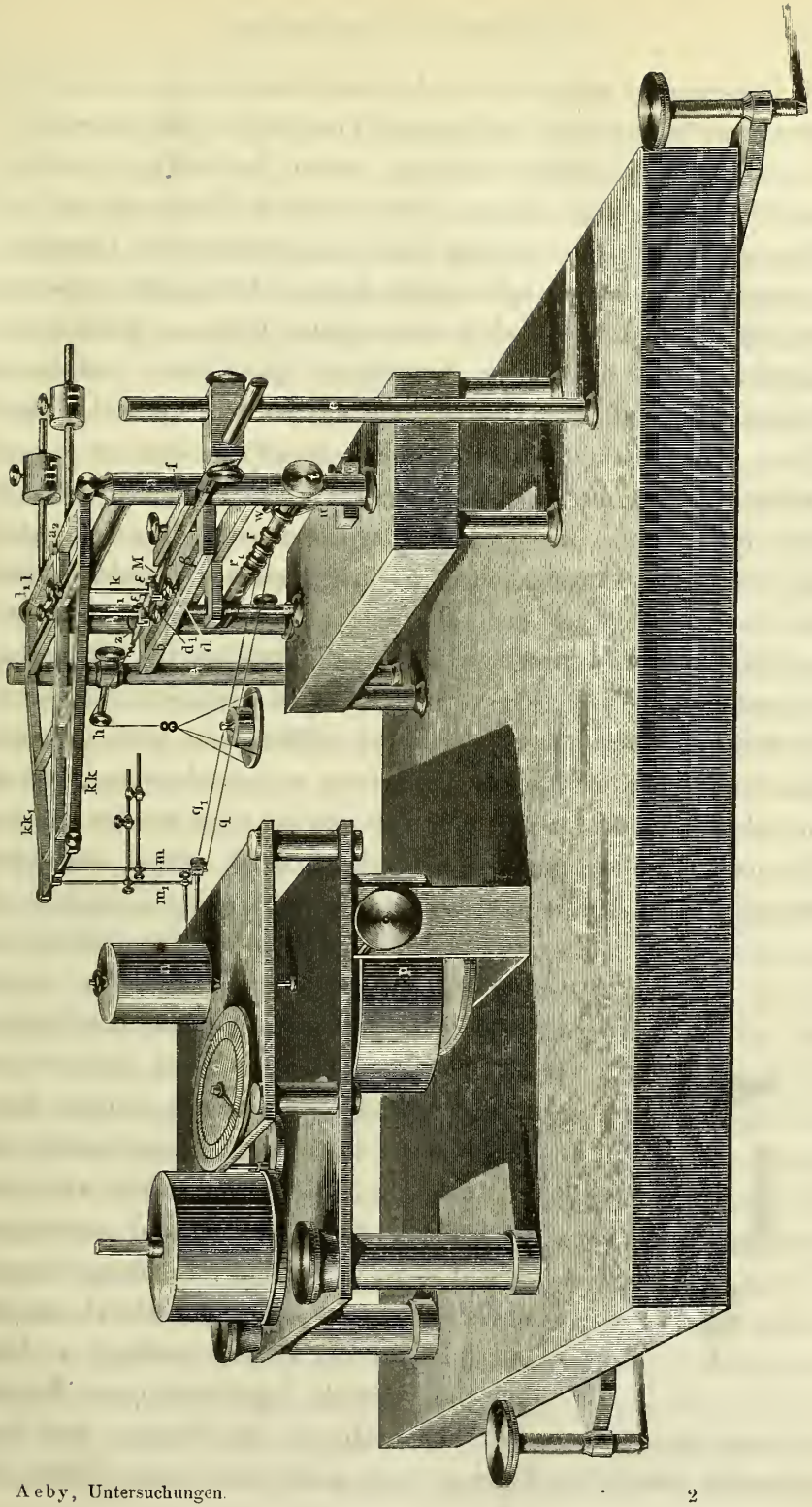
[1]) Valentin, Grundriss der Physiologie des Menschen. Pag. 402. Braunschweig. 1850.

II.

METHODE DER UNTERSUCHUNG.

a. Construction des Apparates.

Um die Contractionsweise eines Muskels kennen zu lernen, braucht es nur ein Mittel, für jeden seiner einzelnen Punkte den Beginn der Verkürzung genau festzustellen. Die Möglichkeit dazu bietet uns der bekannte physiologische Satz, dass die Formveränderung des Muskels nicht auch mit einer Veränderung des Volumens verknüpft ist, dass er also in gleichem Masse an Querschnitt gewinnt, was er an Länge verliert. Das Gleiche gilt natürlich auch für die einzelne Faser. Beide Aenderungen der Dimensionen müssen durchaus gleichzeitig sein; die Verdickung beginnt mit der Verkürzung. Zur Erforschung des in Frage stehenden Verhältnisses liessen sich also beide Momente gleich gut verwenden. Wir haben das erstere gewählt, weil nur bei ihm jegliche Verletzung des Muskelindividuums scheint vermieden werden zu können. Setzen wir nämlich auf den über eine feste Unterlage horizontal ausgespannten Muskel an irgend einer Stelle einen Hebel auf, so wird derselbe zufolge der Verdickung im Momente der Contraction gehoben werden, und es lässt sich auf diese Weise für einen jeden Punkt der Eintritt der Formveränderung leicht bestimmen. Bringen wir statt eines einzigen Hebels deren zwei in einiger Entfernung voneinander an, so wird deren gleichzeitiges oder ungleichzeitiges Aufsteigen uns darüber belehren, ob die Verkürzung an beiden Stellen gleichzeitig oder ungleichzeitig erfolgte. Im letztern Falle ist es nicht schwer, die Geschwindigkeit

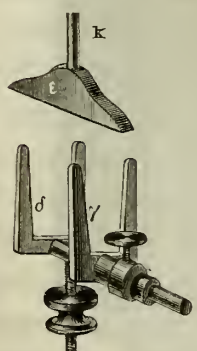


Figur 1.

zu bestimmen, mit der die Contractionswelle von dem Orte ihrer Entstehung nach entferntern Punkten hin fortschreitet.

Dies ist das einfache Princip, worauf der in Fig. 1 Seite 17 abgebildete Apparat beruht. Zwei vertikale Säulen (*a*, *a'*) sind dazu bestimmt, seine einzelnen Theile zu stützen und zu befestigen. In etwas mehr als ihrer halben Höhe liegt ein Elfenbeintischchen (*b*), um seinen hintern Rand in horizontaler Richtung drehbar vermittelst einer an einem besondern Querbalken befestigten Schraube (*c*), auf deren oberes Ende das vordere Ende des Tischchens sich aufstützt; durch Drehen derselben wird es je nach Bedürfniss gehoben oder gesenkt. Das Tischchen gewährt eine feste, unnachgiebige Unterlage; um dem Muskel jedoch bei seiner Verkürzung eine möglichst grosse Verschiebbarkeit zu erhalten, liegt er der Elfenbeinplatte nicht unmittelbar auf, sondern wird frei über zwei schmale Brücken (*d*, *d'*) hinweggespannt. Diese lassen vermittelst einer einfachen Schraubenvorrichtung sich höher oder tiefer stellen und sind in einem Schlitze (β) des erwähnten Tischchens so verschiebbar, dass sie in jeder beliebigen Entfernung voneinander fixirt werden können. An jedem Ende einer Brücke erhebt sich vertikal ein gabelartiger Fortsatz, wovon der eine (Fig. 2 δ) fest, der andere dagegen (γ) mit Hilfe einer kleinen Hülse verstellbar ist, so dass der zwischen beiden befindliche und zur Aufnahme des Muskels (*M*) bestimmte Zwischenraum nach Bedürfniss erweitert oder verengt werden kann. Der Nutzen dieser Vorrichtung besteht darin, dass der Muskel verhindert wird, sich flächenartig auszudehnen, und gezwungen, seine Fasern in vertikaler Richtung übereinander zu lagern. Da der Hebel auf der obern Fläche des Muskels aufliegt, so kann nur die vertikale Verdickung auf ihn einwirken; ihre Grösse aber hängt ab von der Summe der übereinander stehenden Fasern, und somit muss jedes Mittel, das

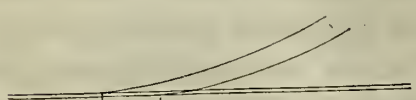
Figur 2.



diese vergrössert, auch den Hebelausschlag vermehren. Alle horizontal nebeneinander liegenden Fasern sind in dieser Hinsicht ohne Wirkung. Die Zunahme des senkrechten Durchmessers ist natürlich um so bedeutender, als durch die Theile der Brücke die Verbreiterung des Muskels in allen übrigen Richtungen vollständig gehemmt ist. Selbstverständlich hängt der Abstand beider Gabelstücke von der Grösse des Muskels ab. Um diesen letztern in seiner Lage zu sichern, befinden sich an beiden Enden des Tischchens zwei Stative. Das eine (*e*) trägt an einem horizontalen, sowohl wagerecht als senkrecht verschiebbaren Arm eine Zange (*f*), vermittelst deren das eine Muskelende fest eingeklemmt wird, das andere (*e*,) an einem ebenfalls auf- und abschiebbaren Arm eine kleine Rolle (*h*), über welche ein an das zweite Muskelende angehakter Faden läuft, um an einer kleinen Wagschale (*i*) zu enden. Vermittelst auf sie gelegter Gewichtstücke kann die Spannung des Muskels beliebig abgeändert werden. Unmittelbar über den unterstützten Stellen und zwischen den Aesten der Gabeln erheben sich mit einem untern Querbalken (ε, ε') frei auf dem Muskel aufstehende Stäbchen (*k*, *k'*), die nach oben durch Schrauben (*l*, *l'*) fest mit den horizontalen Hebeln (*kk*, *kk'*) verbunden werden. In Querschlitzen derselben sind sie in gleicher Weise verschiebbar wie die Brücken (*d*, *d'*) auf dem Tischchen (*b*). Ihre Entfernung betrug in der Mehrzahl der angestellten Experimente 12 Millimeter; an und für sich ist sie natürlich ganz gleichgiltig. Entsprechend der Zahl der zu prüfenden Muskelstellen sind zwei Hebel vorhanden, beide um ihre Drehpunkte am obern Ende der Säulen (*a*, *a'*) und eines zwischen beiden gelegenen Mittelstückes (*a''*) äusserst leicht beweglich; durch Laufgewichte (*ll*, *ll'*) am hintern Ende kann übrigens ihre Empfindlichkeit in allen Graden gesteigert oder vermindert werden. Contrahirt sich nun der Muskel, so muss, so oft eine Verdickungswelle unter dem Aufsatzstücke (ε, ε') durchtritt, dasselbe und mit ihm das vordere Hebelende gehoben werden, letzteres um so mehr, je weiter es von dem Angriffspunkte der Kraft abgerückt ist. In unserm Falle verhält sich der Abstand

von k vom Hypomochlion zur ganzen Hebellänge wie 1 : 10 und jeder Hebelausschlag beträgt somit das Zehnfache der eigentlichen Muskelbewegung. Wie sehr hierdurch die Genauigkeit der Methode gesteigert wird, werden wir bald erkennen. Um nämlich die zeitlichen Verhältnisse der Bewegungen beider Hebel genau erfassen zu können, wird dasselbe Verfahren angewendet, dessen schon Helmholtz bei der Construction seines Myographiums sich bedient hat. Jeder Hebel trägt vorn einen Zeichenapparat (m, m'), der mit stählerner Spitze auf einer berussten Glastrommel (n) schreibt. Durch ein Uhrwerk wird letztere in gleichmässige Bewegung gesetzt, deren Grösse einerseits durch ein Zählerwerk (o) genau bestimmt, andererseits durch in einem verstellbaren Oelgefässe (p) laufende Metallflügel innerhalb ziemlich weiten Gränzen regulirt werden kann. Die Wirkung der Zeichenstifte liegt auf der Hand. Ihre Bewegung ist abhängig von derjenigen der Hebel und der Aufsatzstücke. So lange also der Muskel in Ruhe ist, bleibt ihre der Trommel aufliegende Spitze in gleicher Höhe; sie erzeugt auf ihr eine in sich selbst zurücklaufende Grade, eine einfache Abscissenaxe. Bei der Verkürzung des Muskels erhebt sich die Spitze in einer der Formveränderung entsprechenden mehr oder weniger steil ansteigenden Curve, deren Anfangspunkt natürlich mit der graden Abscisse zusammenfällt. Hierin ist uns die Möglichkeit gegeben, zu bestimmen, ob die Hebung beider Hebel gleichzeitig oder ungleichzeitig erfolgte. Im erstern Falle müssen die beiden Curvenanfänge sich decken, oder, was auf dasselbe hinauskommt, um den Abstand der beiden Stifte auseinanderfallen; im letztern dagegen muss die Distanz eine grössere sein, da der später ansteigende Hebel noch eine Strecke weit horizontal fortgeht, also noch ein Stück Abscissenaxe zieht, während der andere bereits aufgestiegen ist. (Figur 3.) Das Stück Abscissenaxe (J), das zwischen beide Curven sich hineinschiebt, ist genau proportional der Zeit, um welche die Bewegung beider Hebel diffe-

Figur 3.

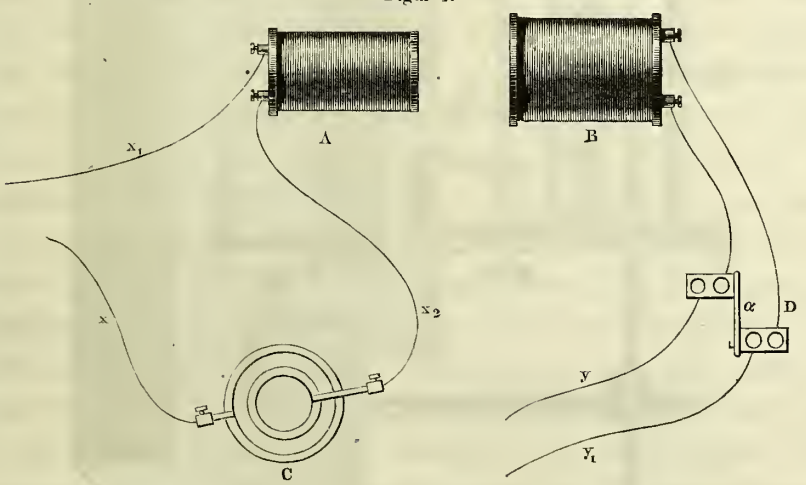


rirte, und wird deshalb zur Berechnung der letztern verwendet. Wir haben J nur durch die Secundengeschwindigkeit (G) der Trommel zu dividiren. Die Division des entstehenden Bruches in die Entfernung (D) der beiden untersuchten Muskelabschnitte voneinander gibt die Secundengeschwindigkeit (F), mit der die Zuckungswelle von dem Reizpunkte aus sich fortpflanzt. Die Formel lautet mithin einfach:

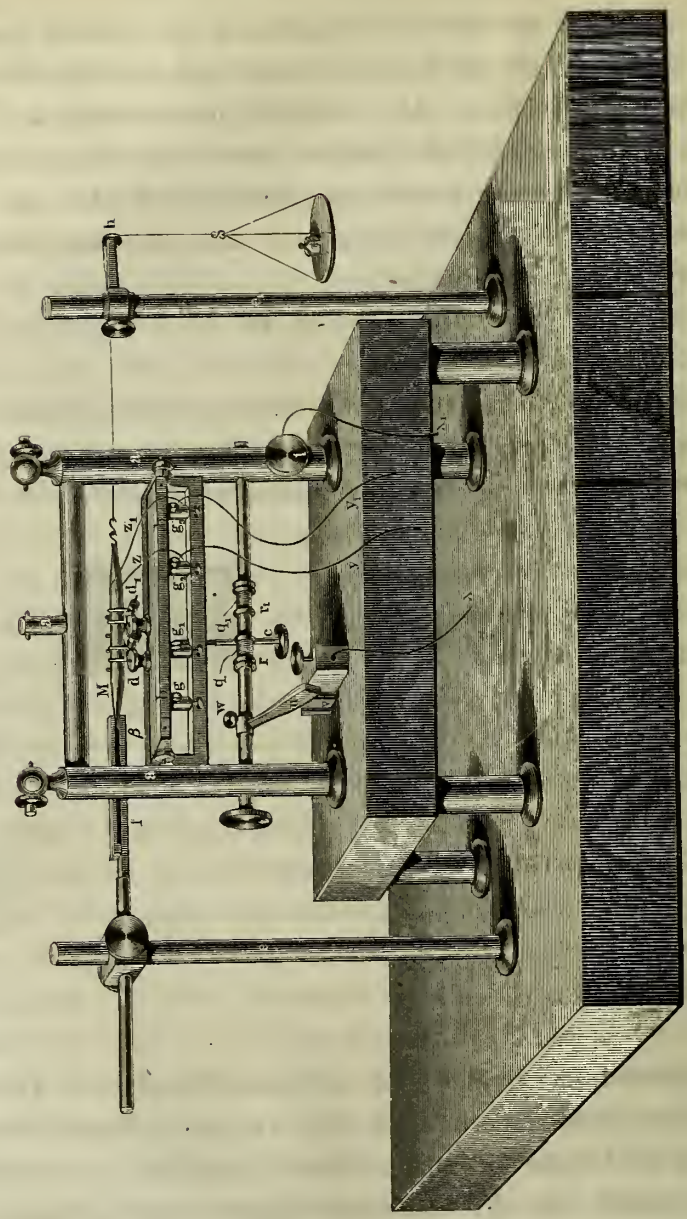
$$F = \frac{G \cdot D}{J}.$$

Besondere Vorsicht und Einrichtung verlangt noch die Zuleitung des Reizes. Wir verwenden dazu für gewöhnlich den einfachen Inductionsschlag einer secundären Drahtspirale. (Fig. 4.)

Figur 4.



Zur Aufnahme der Drähte sind am hintern Rande des Tischchens (b) vier Messingklammern (Fig. 5. g, g^1, g^2, g^3) angebracht, von denen je zwei die Drähte (z, z') zum Muskel gehen lassen, während sie selbst wieder mit der inducirten Spirale durch Drähte (y, y') verbunden sind. Es ist von Vortheil, ihren Verlauf an irgend einer Stelle durch einen Dubois'schen Schlüssel (D), welcher durch Einschaltung einer guten Nebenschliessung (α) den Reiz jeden Augenblick von dem Muskel abzuschneiden gestattet, zu unterbrechen. Die Drähte der primären Rolle (A) finden in dem Apparate selbst ihre Unterbrechung, indem der eine (x,) an die



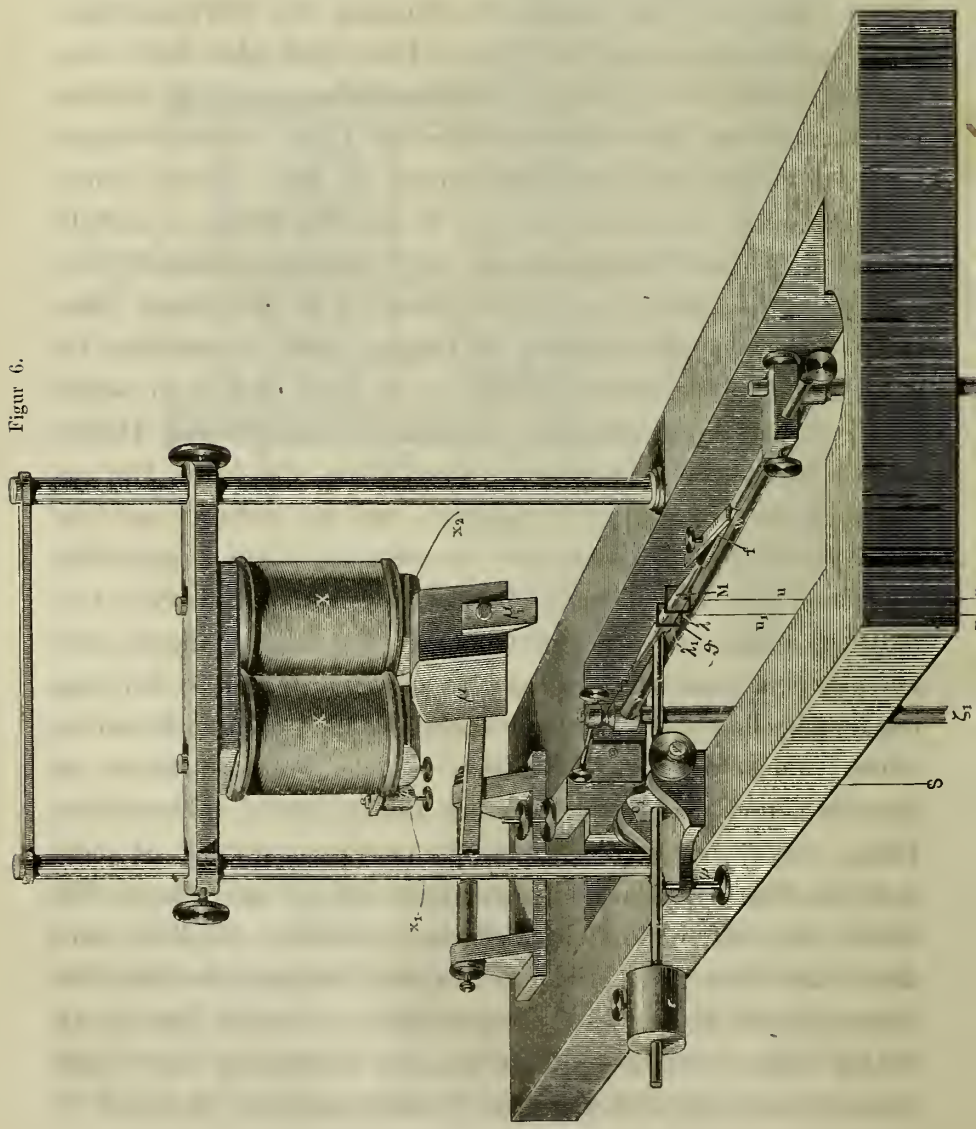
Figur 5.

Säule a', der andere dagegen (x) an den isolirten Messingblock v herantritt. Um den Strom schliessen zu können, geht durch die beiden Stützsäulen (a, a') die vermittelst t drehbare Queraxe G, an welcher vermittelst einer Hülse (w) ein Metallarm (u) so befestigt ist, dass er bei einer gewissen Lage auf den Block v aufschlägt und den primären Strom schliesst. Der Muskel selbst

ist durch das isolirende Elfenbeintischchen *b* davor geschützt, erhält aber im gleichen Moment durch *z* und *z'* den Schlag der secundären Spirale. Diese Vorrichtung wird zugleich dazu benutzt, um das unnöthige Schleifen der beiden Schreibstifte auf der Trommel zu verhindern und sie nur im gewünschten Momente auf dieselbe auffallen zu lassen. Im entgegengesetzten Falle wird nämlich, abgesehen von andern Unannehmlichkeiten, sehr bald ein so dicker Abscissenstrich auf die Trommel gekratzt, dass an eine genaue Bestimmung der Curvenanfänge nicht mehr gedacht werden kann. Dies wird aber leicht vermieden, wenn wir die beiden Stifte an Fäden (*q*, *q'*) festbinden, und deren eines Ende um die Queraxe *G* so herumschlingen, dass das abgehende Fadenstück unter ihr liegt, mithin durch jede Drehung, wodurch der Arm *u* auf den Block *v* auffällt und den primären Strom schliesst, noch weiter abgewickelt wird und die Stifte nach vorn treten lässt. Um die Länge eines jeden Fadens genau reguliren zu können, geht er um eine besondere auf *G* verstellbare Rolle (*r*, r'). Da auch *u* in seiner Lage verschoben werden kann, so lässt sich sämmtlichen Theilen leicht eine solche Einstellung geben, dass die Stifte für gewöhnlich der Trommel nicht anliegen und ihr Auffallen auf dieselbe gleichzeitig mit dem des Metallarmes *u* auf *v* geschieht, oder ihm um ein beliebiges Zeitintervall vorangeht. So ist es möglich, grade nur den Curvenanfang mit einem längern oder kürzern Stück der Abscissenaxe zu erhalten. Eben so hat man nur unmittelbar nach erfolgter Zuckung den primären Strom zu öffnen, um sofort die Schreibstifte von der Trommel wieder zu entfernen, und der Verwirrung des Bildes durch unbrauchbare Linien vorzubeugen. Die erfolgende Oeffnungszuckung ist nicht mehr im Stande, Schaden anzurichten, da ja im gleichen Momente die Stifte die Schreibefläche verlassen. Endlich wird durch die Hebung der Hebel selbst die Thätigkeit des Schreibeapparates auf ein kurzes Anfangsstück der Curven beschränkt, da bei höherer Stellung des Hebels die Fadenlänge nich mehr hinreicht, um den Stift auf den Cylinder auffallen zu lassen.

Dass die Reizung des Muskels durch den secundären Schlag eines Schlittenapparates weitaus die bequemste ist, bedarf keiner weitern Auseinandersetzung; indessen ist es doch von Interesse, auch die Wirkung des mechanischen Eingriffes zu prüfen. Es ist dazu eine besondere Vorrichtung nothwendig, deren Aufgabe darin besteht, nicht allein den Reiz in einem ganz bestimmten Momente eintreten zu lassen, sondern zugleich jede Erschütterung zu vermeiden. Beides wird durch den in Figur 6 wiedergege-

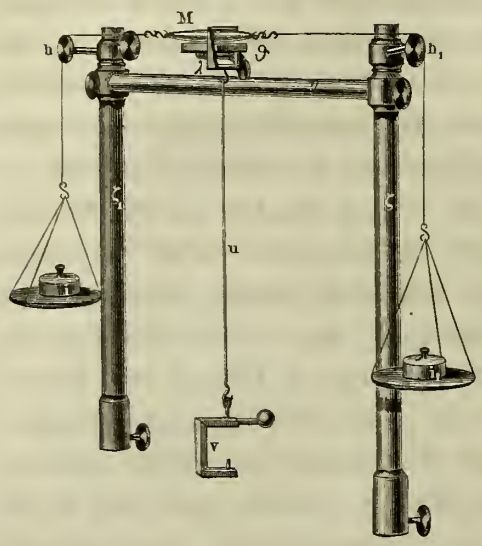
Figur 6.



benen Apparat erfüllt. Als Erreger wirkt ein Stahlhammer (μ), der an seinem vordern Rande mit stumpfer Schneide (μ_1) versehen ist, die beim Herabfallen auf den horizontal ausgespannten Muskel (M) auffällt. Von unten wird dieser durch ein ebenfalls stählernes Lager (e) gestützt, doch ist dasselbe, um die Einklemmung des Muskels zu verhüten, nicht fest, sondern um eine Queraxe (e') drehbar. Da seine Bewegung nach unten geht, so muss es im Momente, wo der Hammer auffällt, in diesem Sinne ausweichen und so dem Muskel zur Verkürzung freien Spielraum lassen. Durch die Schraube ψ wird es gestützt und je nach Bedürfniss höher oder tiefer gestellt, während durch ein Laufgewicht (τ) der Widerstand, den es dem Hammer entgegensetzt, und mit ihm die quetschende Gewalt des letztern beliebig verändert werden kann. Auch die Stellung des Hammers lässt sich durch Höher- oder Tieferstellen des Widerlagers (π), worauf er auffällt, genau reguliren. Derselbe wird durch den Elektromagneten X hochgehalten; seine Fallhöhe wird durch die Stellung des letztern bedingt. Vermittelst einer Klemme (φ) wird die Drahtspirale in den Drahtkreis (Fig. 4 x' x'') eingeschoben, der früher mit der secundären Spirale verknüpft war. Der Schlittenapparat fällt hier natürlich weg. Ist nun der Kreis zwischen u und v geschlossen, so tritt der Elektromagnetismus in Thätigkeit und der Hammer wird festgehalten, während er im entgegengesetzten Falle herunterfällt. Die Reizung erfolgt also hier bei entgegengesetzer Anordnung der Theile, als wir es früher bei Anwendung des Inductionsschlages gesehen haben; daraus ergibt sich denn auch nothwendig eine andere Anordnung der beiden den Schreibapparat haltenden Fäden. Ihre Verlängerung darf nicht mehr mit dem Schlusse, sondern sie muss mit der Oeffnung des Drahtkreises zusammenfallen; wir erreichen dies, wenn wir sie nicht unter, sondern über ihren entsprechenden Rollen (r, r') wegführen. Zugleich müssen aber auch die Lagerungsverhältnisse des Muskels, um ihn dem Hammer zugänglich zu machen, durchaus andere werden; er wird nicht mehr unter, sondern über dem Hebelwerke angebracht. Zu

diesem Behufe werden (Figur 7) auf e und e' die beiden Verlängerungsstücke ζ, ζ' mit einem obern Querbalken (η) aufgesetzt.

Figur 7.



Von der Mitte des letztern erhebt sich nach vorn ein kleines Elfenbeinplättchen (ϑ), auf dessen oberer Fläche der Muskel unmittelbar aufliegt und mittelst Klammer und Rolle (Figur 6) in der schon früher beschriebenen Weise an den Seitenstativen Stützpunkte findet. Ueber ihn hinweg sind schmale Messingrahmen (λ, λ') so geschoben, dass sie bei jeder Verdickung nach oben gehoben werden. An ihrem untern Ende hängen die Drähte u, u' mit Haken, wovon der eine (v) in Figur 7 dargestellt ist. Um diese an den Hebeln zu befestigen, werden die Aufsatzstäbchen (k, k') entfernt und an ihrer Stelle kleine in der Mitte vertiefte Platten horizontal an l und l' angeschraubt. Wenn die Spitze des Hakens v in diese eingesetzt wird, hängt der ganze Hebel an den beschriebenen Rahmen und wird durch den Muskel getragen. Die mit seiner Verkürzung verbundene Verdickung wird demnach wiederum die Schreibstifte heben müssen. Die Verhältnisse der beiden Curven zueinander sind natürlich dieselben, die wir schon früher auseinandergesetzt haben. Mit dem Schlagwerke steht mithin der eigentlich zeitmessende Apparat in keinem directen Zusammenhange, und nur das obere zur Aufnahme des Muskels unmittelbar bestimmte Aufsatzstück ist, wie Figur 6 zeigt, in einen weiten Ausschnitt des Fussbrettes des erstern hineingeschoben, doch so, dass es mit ihm in keinerlei Berührung kommt, ausser wo der Muskel

selbst durchaus frei liegend vom Tischchen zu *e* sich herüberspannt. Solches ist aber auch unumgänglich nothwendig, weil die Erschütterung des fallenden Hammers sich sonst auf den ganzen Apparat fortpflanzen und schon von sich aus die leichtbeweglichen Hebel in Bewegung setzen würde. Um dies vollständig zu vermeiden, dürfen auch die beiden Apparate nicht auf ein und derselben Unterlage aufruhen, vielmehr muss das Schlagwerk unabhängig von dem andern mittelst einiger untergelegter Querbalken an einer feststehenden Wand befestigt werden. So gelingt es denn mit grosser Sicherheit, auch die heftigsten Hammerschläge durchaus unschädlich zu machen.

b. Gebrauch des Apparates.

Es kann sich hier natürlich nicht darum handeln, alles das hervorzuheben, was zur Erzielung eines fehlerfreien Resultates überhaupt beobachtet werden muss; wie in all dergleichen Dingen, so muss auch in dem vorliegenden Falle die praktische Erfahrung das Beste thun. Einige Punkte jedoch, die theils den Gang der Untersuchung, theils das Princip der Methode berühren, mögen kurze Erwähnung finden.

Die richtige Einstellung aller Theile, vor Allem die passende Belastung des Hebel- und Schreibapparates nimmt immer eine geraume Zeit in Anspruch. Besonders setzt das spontane Aufwärtsgleiten der schreibenden Stahlstifte, sobald sie den Cylinder berühren, die Geduld des Experimentators oft auf eine harte Probe; indessen lässt sie bei empirisch gefundener richtiger Einstellung der Spitzen, so wie bei nicht zu kleiner Belastung der Hebel, sich doch sicher vermeiden. Letztere darf ohnehin auch aus einem andern Grunde nicht zu gering sein; an der Aufsatzstelle des Hebels müssen nämlich alle lockern Partien des Muskels, die etwa von interstitiellem Bindegewebe herrühren möchten, aufgehoben sein, wenn die Contractionswelle in voller Stärke auf den Hebel einwirken soll. Dass indessen die Gewichte nicht grösser genommen werden dürfen, als grade nothwendig ist,

versteht sich von selbst, da sonst die Hubhöhe zu sehr erniedrigt würde. Das Auffallen der beiden Spitzen auf den Cylinder muss überhaupt mit besonderer Vorsicht überwacht werden, da von ihm das Gelingen des ganzen Versuches wesentlich abhängt. Einerseits ist nämlich, um eine ausgiebige Verkürzung zu erhalten, möglichst rascher Schluss der Kette ein nothwendiges Erforderniss, während andererseits das hiermit verbundene rasche Auffallen der Spitze auf den Cylinder ein elastisches Zurückspringen verursacht, das die stätig ansteigende Curve zu einer oft auf lange Strecken unterbrochenen Punktlinie, mit der nichts anzufangen ist, umwandelt. Die Uebung wird auch hier lehren, wie zu manipuliren ist, um beide Zwecke zu erfüllen; immerhin muss man sich gefasst machen, zahlreiche Versuche auf diese Weise verunglücken zu sehen. Auf das Gelingen des Experimentes ist endlich noch die Länge der stifthaltenden Fäden nicht ohne Einfluss. Gemäss der Einrichtung des Apparates ist nur der Anfang der Curve einer Verwerthung fähig, alles andere jedoch unnützer Ballast. Einen solchen vermeiden wir um so mehr, je kürzer wir den Faden machen, so dass nur ein kleines Stück horizontaler Abscissenaxe sich ausbilden kann. In dieser Hinsicht ist auch ein sofortiges Abziehen der Schreibstifte nach ihrer Hebung zu empfehlen, weil sie sonst bei längerm Aufliegen ein unentwirrbares Linienchaos erzeugen würden. Ich habe es in der Regel vorgezogen, den Faden so zu verkürzen, dass die Horizontalaxe keinen vollen Cylinderumgang betrug; eine solche musste dann natürlich noch nachträglich gezogen werden. Auch ist es der Klarheit des Bildes wegen wünschenswerth, die beiden Curven in verschiedener Höhe übereinander anzulegen (Figur 3), weil sie sonst leicht sich verwirren; solches macht sich übrigens meist schon von selbst. — Der Cylinder wird in der von Helmholtz angegebenen Weise behandelt, indem man die Curven auf befeuchtetem Glaspapier (feinen Gelatineblättern) abklatscht und ihre Anfänge nachher vermittelst der Loupe zu bestimmen sucht. Dieser letzte Theil der Operation erfordert bei dem oft ungemein flachen Ansteigen der Curven ganz be-

sonders Uebung und Vorsicht. Dass bei der Berechnung auf den Abstand der beiden Spitzen Rücksicht genommen werden muss, versteht sich von selbst.

Haben wir nun aber auch alle die angedeuteten Fehlerquellen vermieden, so könnte vielleicht noch das Princip selbst, worauf die ganze Untersuchung beruht, angegriffen werden. Es könnte geltend gemacht werden, dass zur Hebung der Aufsatzstücke der Muskel einer gewissen Energie bedürfe, dass diese aber nur allmälig sich entwickle, dass demnach auch die Bewegung des Hebels nicht unmittelbar in dem Momente der beginnenden Contraction, sondern erst etwas später erfolge. Es wäre gewiss nicht grade schwer, die hier angeregte Frage experimentell zu entscheiden, indessen ist es glücklicherweise gar nicht einmal nothwendig. Wir haben es ja nicht mit der genauen Zeitbestimmung einer einzelnen Bewegung, sondern nur mit der zeitlichen Differenz zweier Bewegungen zu thun. Beide erzeugen sich unter ein und denselben Verhältnissen; beiden sind daher auch dieselben Fehlerquellen gemeinsam. Wird also durch das angeführte Moment die Bewegung des einen Hebels verzögert, so tritt dasselbe auch für den andern ein. Wir haben eine horizontale Verschiebung beider Curvenanfänge, die ihre gegenseitige Lage ganz unberührt lässt. Damit aber Letzteres wirklich geschehe, ist erforderlich, dass an beiden Stellen Kraft und Widerstand dieselben seien. Jene wird durch die Menge der in einem Muskel enthaltenen Fasern, diese durch die Belastungsgrösse der Hebel bestimmt. Wir haben folglich einen Muskel zu nehmen, dessen Faserzahl an allen Stellen seines Verlaufes dieselbe ist, und zugleich die Belastung beider Hebel gleich zu machen. Durch auf die Laufgewichte aufgesetzte Gewichtstücke kann Letzteres leicht geprüft werden. Die Wahl eines passenden Muskels ist aber überhaupt von grösster Bedeutung. Es ist nämlich klar, dass die Contractionsweise der Muskelsubstanz nur dann geprüft werden kann, wenn sie in einfachster Weise zu einer Graden angeordnet ist. In jeder einzelnen Faser ist diese Bedingung erfüllt; eine solche können wir freilich nicht

an und für sich dem Experiment unterwerfen. Aber dasselbe leistet uns auch ein Complex von solchen Muskelfasern, die sämmtlich in gleichem Sinne angeordnet sind, mit einem Worte, ein parallelfasriger Muskel. Es ist jedoch nicht ein jeder so gebauter Muskel zu verwenden, da bei zu geringer Faserzahl die Hubhöhe eine zu geringe wird, als dass sich der Curvenanfang mit Sicherheit bestimmen liesse. Beiden Anforderungen schien mir beim Frosche am besten einer der grossen Adductoren des Oberschenkels zu entsprechen, der M. adductor magnus von Cuvier, oder Post-ischio-tibial profond von Dugès.[1]) Er tritt nach Eröffnung der Haut unmittelbar zu Tage, nach aussen an den sartorius (Sous-ilio-fémoral, Dugès), nach innen an den gracilis (Post-ischio-tibial superficiel, Dugès) anstossend. Beide werden sorgfältig entfernt; hierauf wird die untere schmale Insertion des adductor magnus getrennt, mit der Pincette gefasst, und der ganze Muskel mit Hilfe einiger Scheerenschnitte frei präparirt. Zwischen seinem mittlern und obern Drittheile trifft man auf den Nerven, der je nach Bedürfniss dicht am Muskel abgeschnitten oder aber, wenn er beibehalten werden soll, eine Strecke weit freigelegt wird. Nach oben bleibt der Muskel an der Schamfuge, welche mit einer starken Scheere aus dem Becken ausgeschnitten wird und nun vortrefflich dazu dient, in die Zange (*f*) des Apparates eingeklemmt und dem Muskel zu einem festen Stützpunkte zu werden. In die kurze Sehne des untern Endes wird der Haken eingeschlagen, welcher den Faden sammt der belasteten Wagschale aufzunehmen hat. Um den so zubereiteten Muskel in den Apparat zu bringen, hat man nur die Hebel emporzuheben, das Tischchen dagegen herunterzuschrauben; er gleitet dann mit Leichtigkeit in die zu seiner Aufnahme bestimmten Gabeln.— Ausserdem gewährt die Verstellbarkeit des Tischchens noch den Vortheil, auf ein und demselben Cylinder mehrere Versuche machen zu können, da

[1]) A. Dugès, Recherches sur l'ostéologie et la myologie des Batraciens. Planche VII. pag. 152. Paris. 1834.

je nach seiner Einstellung die Lage der Curven eine andere wird. Um das Bild nicht zu verwirren, habe ich mich stets mit zwei Curvenpaaren begnügt.

Endlich haben wir noch der Art und Weise, wie der Muskel zur Contraction gebracht wird, als einem besonders wichtigen Punkte unsere Aufmerksamkeit zu schenken. Schon früher haben wir angeführt, dass zu diesem Zwecke der Inductionsschlag des Dubois'schen Schlittenapparates verwendet wird. Es ist nun klar, dass von einer fortschreitenden Bewegung nur dann die Rede sein kann, wenn der Reiz ein localer, nicht über den ganzen Muskel verbreiteter ist. Letzteres ist der Fall, wenn die beiden Pole den Enden des Muskels anliegen; der Schlag durchzuckt dann gleichzeitig seine ganze Länge, und es ist demnach auch die Verkürzung auf der ganzen Strecke eine gleichzeitige. Der Reiz muss aber nicht allein ein localer, sondern zugleich so angeordnet sein, dass er die Querschnitte sämmtlicher Fibrillen gleichzeitig erregt. Dies geschieht, wenn die Leitungsdrähte an den beiden einander gegenüberstehenden Seiten quer über den Muskel gebrückt werden. (Figur 1 und 5.) Der Begriff des localen Reizes ist freilich für den elektrischen Strom nur ein bedingter, da er bekanntlich über die grade Verbindungslinie der Leitungsdrähte in sogenannten Stromschleifen auf längere oder kürzere Strecken ausbricht. Um solches möglichst zu beschränken, wird die Stromstärke so gemildert, dass eben noch eine genügende Zuckung erhalten wird, zugleich aber auch die Reizungsstelle selbst in einer solchen Entfernung von dem Hebelpaare gewählt, dass die zu prüfende Strecke gänzlich ausserhalb des Bereiches der Stromschleifen fällt. Eine Entfernung von zehn Millimetern fand ich genügend. Wo soll aber der Reiz angebracht werden? Jedenfalls an dem einen Ende des Muskels, aber wir haben deren zwei, ein festes an der Zange und ein bewegliches an der Rolle. Contrahirt sich der Muskel überall gleichzeitig, so ist es durchaus gleichgiltig, an welcher Stelle seines Verlaufes er gereizt wird, nicht aber so, wenn die Verkürzung eine fortschreitende ist. Das End-

resultat wird unter allen Umständen eine Verschiebung der Theilchen gegen den festen Punkt hin sein, und es muss sich deshalb der Muskel unter dem Hebelapparate hindurchziehen. Damit nun die noch nicht contrahirten Stellen hiervon unberührt bleiben, muss die Bewegung von dem beweglichen gegen den festen Punkt hin fortschreiten. Freilich wird ein Zug nach beiden Seiten hin ausgeübt werden, allein den uncontrahirten Muskelabschnitten gegenüber bleibt er unwirksam, weil er sie von einem fixen Punkte abzuziehen strebt. Denken wir uns dagegen die Verkürzung von dem festen Ende gegen das bewegliche hin fortschreitend, so sind zwar die wirkenden Kräfte wiederum dieselben, das Resultat aber ist ein anderes. Auch hier kann der Zug nur nach dem beweglichen Ende hin wirken; zwischen ihm und diesem Ende liegt aber der ganze Muskel, und es muss also auch dieser ihm folgen. Indem er sich nur unter den Aufsatzstücken hinwegschiebt, wird deren Standhöhe eine andere, da einestheils der Muskel selbst nicht überall genau dieselbe Dicke besitzt, anderntheils der Hebel in die Oberfläche des Muskels etwas hineingepresst war. Bei der grossen Empfindlichkeit des Apparates muss aber jede Lageveränderung vermieden werden, die vor der Contractionswelle das Aufsatzstück des Hebels berührt. Daher denn die Nothwendigkeit, den Reiz an dem beweglichen Ende anzubringen; nur in diesem Falle ist die Contractionswelle selbst das erste, was die Standhöhe des Hebelapparates verändern kann. Aus den so eben besprochenen Verhältnissen ergibt sich noch eine andere Folgerung. Bei directer Reizung des Muskels kann es nämlich nicht zweifelhaft sein, an welcher Stelle die Contraction zu beginnen hat, wohl aber bei indirecter durch den Nerven. Um hier ganz sicher zu gehen, ist es nothwendig, den beiden Muskelenden dieselbe Beweglichkeit zu verschaffen oder, mit andern Worten, sie beide freizumachen. Es geschieht dies leicht so, dass der Zangenapparat durch einen zweiten Rollenapparat (Figur 7) ersetzt wird. Hier ist die Aufsatzstelle des Hebelapparates der fixirte Punkt und nach ihm hin wird demnach

unter allen Umständen die Verschiebung geschehen müssen. Diese Vorrichtung ist auch dann zu brauchen, wenn der ganze Verlauf der Contraction untersucht werden soll. Doch davon später. Für gewöhnlich ziehen wir die erstere als die bequemere vor.

Zuletzt haben wir noch einiges über den mechanischen Reizungsapparat beizufügen. Wie die Erschütterung des fallenden Hammers von den Schreibestiften abgehalten wird, wurde schon früher auseinandergesetzt. Es liegt aber noch die gleiche Gefahr in dem Muskel selbst, indem derselbe bei der Quetschung leicht gezerrt und eine Verschiebung des nächstliegenden Rahmens verursacht werden kann; eine solche wirkt aber ebenfalls auf die Standhöhe des Hebels ein, und zwar um so mehr, als die Länge des Aufhängedrahtes nur eine geringe ist. Eine Verlängerung desselben würde diesen Fehler vermindern, dafür aber andere Unannehmlichkeiten im Gefolge führen. Glücklicherweise bietet sich noch ein zweites Auskunftsmittel darin, dass der Zwischenraum zwischen dem Tischrand und der Reizungsstelle (bei *e*, Fig. 6) möglichst weit gemacht wird. Dadurch erhält der Muskel grössere Beweglichkeit und kleine Lageveränderungen bleiben eher auf sein freies Ende beschränkt. Für das Experiment selbst sind die schon früher besprochenen Vorsichtsmassregeln zu beobachten. Uebrigens ist das ganze Verfahren wenig lohnend. Abgesehen von der Schwierigkeit, den Schreibeapparat vor jeder Erschütterung zu bewahren, liegt ein bedeutender Uebelstand darin, dass der Muskel auf dem Tischchen sich flächenartig ausbreitet und hierdurch nur eine geringe Hubhöhe gestattet. Mit der Erniedrigung der Ordinaten wächst aber die Schwierigkeit der Bestimmung der Curvenanfänge ganz ausserordentlich, ja sie wird hier in den meisten Fällen sogar rein unmöglich. Ich habe mich deshalb auf einige wenige gelungene Versuche beschränkt und mich damit begnügt, sie im Einklang mit den auf andere Weise erhaltenen Gesetzen zu finden. Nur dieser letztere Umstand, so wie der Wunsch, vollständige Rechenschaft abzulegen, konnte mich daher bewegen,

auch diesen Theil meiner Arbeit hier aufzunehmen. Ohne Zweifel liessen sich die gerügten Fehler durch Nachdenken auf die eine oder andere Weise vermeiden; ich glaubte darüber hinweggehen zu dürfen, da die Annehmlichkeit und Sicherheit des Experimentes doch niemals derjenigen gleichkommen kann, welche die Anwendung des elektrischen Stromes gewährt. Hiermit mag denn auch dieser Gegenstand erledigt sein. Alle Resultate, die im nächsten Abschnitte besprochen werden sollen, sind mit Hilfe des Inductionsschlages gewonnen worden.

Sollten die Zahlengrössen hin und wieder vielleicht etwas stark schwankend erscheinen, so möge man sich erinnern, wie viele unvermeidliche Fehlerquellen in dem nie ganz regelmässigen Gange des Uhrwerkes, in der Schwierigkeit, den Curvenanfang zu bestimmen, und in andern Verhältnissen, die wir nicht alle erörtern wollen, liegen. Durch Anstellung zahlreicher Versuche glaube ich dieselben, wenn nicht ganz, doch wenigstens grösstentheils unschädlich gemacht zu haben.

Als Versuchsthier wurde durchgängig der Frosch angewendet und zwar jene schöne grosse Art, welche zur Freude aller Physiologen in so grosser Menge die Umgegenden Berlins bewohnt und den Eisenbahntransport selbst nach grössern Entfernungen hin (wie zwischen Berlin und Basel) sehr gut verträgt. Natürlich thut jeder andere Frosch, wenn er nur gross genug ist, den Dienst auch. Dass mit kleinen Thieren nichts anzufangen ist, ergibt sich aus dem Vorhergehenden genugsam.

III.

RESULTATE.

a. Mit Curare vergiftete Muskeln.

Wie man auch in der Irritabilitätsfrage sich entscheiden, welcher Ansicht man über die Einwirkung des amerikanischen Pfeilgiftes auf den Nerv sein mag, es erscheint in unserm Falle die Anwendung dieser Vergiftung vortheilhaft, um wenigstens grössere Nervenstämme ausser Wirkung zu setzen und dadurch die Fortpflanzung des angewandten Reizes auf entferntere Strecken zu verhüten. Sämmtliche Thiere wurden daher auch erst nach vollständig eingetretener Lähmung getödtet. Wurde nun der freipräparirte Muskel in der beschriebenen Weise in den Apparat eingespannt und ein Inductionsschlag durch seine ganze Länge geleitet, so war die Hebung beider Hebel stets eine gleichzeitige; die Contraction war also, wie a priori vorauszusehen war, an allen Stellen in ein und demselben Momente erfolgt. Wurde dagegen der Reiz lokal beschränkt, so setzte der ihm zunächst gelegene Hebel sich stets etwas früher in Bewegung als der entferntere; es ist dies nicht anders zu erklären, als dass die Contraction mit einer gewissen Geschwindigkeit von dem zuerst gereizten Punkte aus weiterschritt. Bei möglichst geringer Belastung mit fünf Grammen, die unerlässlich sind, um den Muskel in grader Linie zu spannen, unterlag diese Fortpflanzungsgeschwindigkeit nicht unbeträchtlichen Schwankungen, obwohl in ein und derselben Versuchsreihe stets eine

gewisse Gleichförmigkeit sich erhielt. Ich habe deren drei in grösserer Ausdehnung zu verschiedenen Zeiten und an verschiedenen von Berlin erhaltenen Sendungen angestellt. Dieselben ergaben für die Fortpflanzung eine mittlere Secundengeschwindigkeit von:

A. 815.9 Mm. (Max. 1013.7, Min. 682 Mm.)
B. 840.1 Mm. (Max. 1152, Min. 535.2 Mm.)
C. 1264.3 Mm. (Max. 1480.8, Min. 1036.8 Mm.)

Sehr vereinzelte Beobachtungen, die in der einen oder andern Richtung beträchtlich über die angeführten Grenzen hinausgingen, sind als zweifelhaft in dieser Berechnung unberücksichtigt geblieben. Auch sind überhaupt nur die beiden ersten unmittelbar nach der Präparation erhaltenen Werthe benutzt worden, weil sie später sehr beträchtliche Aenderungen erleiden. Um hiervon eine Anschauung zu liefern, mögen einige der erhaltenen Versuchsreihen in extenso hier eine Stelle finden.

I. Der Frosch vergiftet um $10^{h.}$ 9′, getödtet um $10^{h.}$ 47′.

Die Fortpflanzungsgeschwindigkeit der Contraction beträgt:

um $11^{h.}$	0′ . . .	1013.7 Mm.
$11^{h.}$	7′ . . .	979 „
$11^{h.}$	20′ . . .	633.7 „
$11^{h.}$	32′ . . .	633.6 „
$11^{h.}$	57′ . . .	601.9 „
$12^{h.}$	7′ . . .	594.1 „
$1^{h.}$	9′ . . .	443.5 „
$1^{h.}$	15′ . . .	422.4 „

II. Der Frosch vergiftet um $10^{h.}$ 39′, getödtet um $1^{h.}$ 11′.

Die Fortpflanzungsgeschwindigkeit der Contraction beträgt:

um $1^{h.}$	25′ . . .	844.8 Mm.
$1^{h.}$	31′ . . .	779.9 „
$1^{h.}$	42′ . . .	403.7 „
$1^{h.}$	50′ . . .	306.9 „

III. Der Frosch vergiftet um $2^{h.}$ 41′, getödtet um $3^{h.}$ 11′.

Die Fortpflanzungsgeschwindigkeit der Contraction beträgt:

um $3^{h.}$	18′ . . .	1382.4 Mm.

um $3^{h.}$ 27′ . . . 1075.2 Mm.
$3^{h.}$ 29′ . . . 1018.8 „

IV. Der Frosch vergiftet um $10^{h.}$ 15′, getödtet um $10^{h.}$ 54′.
Die Fortpflanzungsgeschwindigkeit der Contraction beträgt:
um $11^{h.}$ 3′ . . . 1633.2 Mm.
$11^{h.}$ 6′ . . 1508.4 „
$11^{h.}$ 10′ . . . 1338 „
$11^{h.}$ 13′ . . . 1296 „

V. Der Frosch vergiftet um $10^{h.}$ 20′, getödtet um $11^{h.}$ 10′.
Die Fortpflanzungsgeschwindigkeit der Contraction beträgt:
um $11^{h.}$ 18′ . . . 1382.4 Mm.
$11^{h.}$ 21′ . . . 1300.8 „
$11^{h.}$ 26′ . . . 1296 „
$11^{h.}$ 29′ . . . 783.6 „

VI. Der Frosch vergiftet um $1^{h.}$ 6′, getödtet um $2^{h.}$ 33′.
Die Fortpflanzungsgeschwindigkeit der Contraction beträgt:
um $2^{h.}$ 39′ . . . 1209.6 Mm.
$2^{h.}$ 45′ . . . 945.6 „
$2^{h.}$ 48′ . . . 774

VII. Der Frosch vergiftet um $11^{h.}$ 0′, getödtet um $12^{h.}$ 3′.
Die Fortpflanzungsgeschwindigkeit der Contraction beträgt:
um $12^{h.}$ 18′ . . . 771.1 Mm.
$12^{h.}$ 21′ . . . 682 „
$12^{h.}$ 29′ . . . 739.2 „
$12^{h.}$ 34′ . . . 731.5 „
$12^{h.}$ 45′ . . . 492.6 „
$12^{h.}$ 53′ . . . 528 „
$1^{h.}$ 25′ . . . 448.8 „
$1^{h.}$ 29′ . . . 304.7 „
$1^{h.}$ 35′ . . . 281.6 „
$2^{h.}$ 20′ . . . 306.9 „
$2^{h.}$ 55′ . . . 298.1 „

In all diesen Versuchen stellt sich ganz constant das eine Verhältniss heraus, dass die Fortpflanzungsgeschwindigkeit gegen das Ende zu mehr oder weniger bedeutend sinkt. Die Abnahme

ist freilich nicht eine ganz gleichmässige, bald eine raschere, bald eine langsamere, wie eben zufällige Einwirkungen es mit sich bringen. Sterben doch die Muskeln selbst mit sehr verschiedener Geschwindigkeit ab, so dass der eine schon nach einer Viertelstunde angebrachte Reize fast unbeantwortet lässt, während der andere noch nach drei Stunden ziemlich kräftig zuckt. Demnach müssen auch unter gleichen äussern Verhältnissen je nach der Individualität des Muskels die Reihen mit verschiedener Steilheit abfallen; aber aus Allem ergibt sich doch das allgemeine Gesetz, dass mit dem Absterben des Muskels auch eine Verzögerung im Fortschreiten der Contractionswelle stattfindet. Ob dieser Verzögerung eine Beschleunigung vorangeht, vermag ich nicht zu sagen, da mein Augenmerk nicht speciell darauf gerichtet war. Bei nachträglicher Durchsicht meiner Versuche finde ich allerdings manche, die dafür sprechen könnten, doch muss die Sache unentschieden bleiben, bis neue in diesem Sinne unternommene Untersuchungen vorliegen. — Unter den genannten Verhältnissen ändert sich der physiologische Zustand des Muskels; es ist daher nicht unwahrscheinlich, dass Aehnliches auch während des Lebens geschehe. Hieraus mögen sich vielleicht, wenigstens zum Theil, die individuellen Schwankungen erklären, welche bei ganz frischen Muskeln sich finden. In besonders auffallendem Grade habe ich sie bei Fröschen beobachtet, die ungünstigen Einflüssen ausgesetzt waren; die Resistenzfähigkeit verschiedener Individuen ist eben unter solchen Umständen eine verschiedene, und es ereignet sich um so leichter, dass auffallend hohe und niedrige Werthe einander gegenüberstehen. So ist wohl auch die Differenz zu erklären, welche, wie wir oben sahen, zwischen den Mittelzahlen ganzer Versuchsreihen existirt. Die Reihe A wurde an Fröschen gewonnen, die ich spät im November in kläglichem Zustande erhielt; erst schienen sie sämmtlich erfroren, nachher aber liess sich doch etwa die Hälfte wieder in's Leben zurückrufen. Zu der Reihe B wurden Frösche benutzt, die, im ersten Frühjahr versandt, aus unbekannten Gründen zum grössten

Theile sehr rasch zu Grunde gingen. Die Reihe C dagegen gehört Fröschen an, die ich im Herbste bezogen hatte und die in Beziehung auf ihr physisches Wohlsein nichts zu wünschen übrig liessen. Gewiss ist diesem Umstande die Höhe der Fortpflanzungsgeschwindigkeit zuzuschreiben, um so mehr, als ich noch bei einer vierten ebenfalls trefflichen Sendung dasselbe Resultat erhielt. In dieser Beziehung war es von besonderm Interesse, das Verhalten der Frösche von C während des Winters zu beobachten. Mit dem Eintritt des starken Frostes sank die Fortpflanzungsgeschwindigkeit der Contraction binnen wenigen Tagen sehr bedeutend, wie aus den beiden beigefügten Beispielen erhellt.

I. Der vergiftete Frosch um $9^{h.}$ 47′ getödtet.

Die Fortpflanzungsgeschwindigkeit der Contraction beträgt:

um	$9^{h.}$ 53′ . . .	547.4	Mm.
	$9^{h.}$ 56′ . . .	524.4	„
	$10^{h.}$ 2′ . . .	390	„
	$10^{h.}$ 7′ . . .	362	„

II. Der vergiftete Frosch getödtet um $9^{h.}$ 12′.

Die Fortpflanzungsgeschwindigkeit der Contraction beträgt:

um	$9^{h.}$ 20′ . . .	921.6	Mm.
	$9^{h.}$ 29′ . . .	601.2	„
	$9^{h.}$ 31′ . . .	475.2	„

Wurden die matten Frösche aus der Kälte in das warme Zimmer gebracht, so erholten sie sich ziemlich bald; mit der Rückkehr der frühern Lebhaftigkeit war auch die erwähnte Beeinträchtigung der Zuckungswelle geschwunden.

Ich glaube hiermit den Beweis geliefert zu haben, dass ein Reiz in der Muskelsubstanz so gut wie in der Nervensubstanz eine gewisse Zeit zur Ausbreitung bedarf. Freilich ist der dazu erforderliche Zeitraum ein ungleich grösserer, was in dem Sinne gedeutet werden muss, dass den Muskelmolekülen eine geringere Beweglichkeit, eine grössere Schwerfälligkeit als den Nerven-

molekülen zukommt. — Dass der zeitliche Verlauf einer Muskelzuckung nicht unter allen Umständen derselbe sei, ist durch Helmholtz[1]) gezeigt worden. Durch stärkere Belastung und Verminderung der Reizungsstärke erleidet er eine nicht unbeträchtliche Verlangsamung. Es war von Interesse zu untersuchen, ob auch die Fortpflanzungsgeschwindigkeit der Contraction in ähnlicher Weise verändert würde. Ich benutzte dazu Frösche aus derselben Sendung, die zur Gewinnung der Reihe C gedient hatte. Wurde nun das Gewicht erst auf 35 Gr. und nachher auf 100 Gr. gesteigert, so ergab sich folgendes Resultat:

Bei 5 Gr. Belastung eine Fortpflanzungsgeschw. von 1264.3 Mm.
Bei 35 Gr. Belastung eine Fortpflanzungsgeschw. von 1349.5 Mm.
(Max. 1596, Min. 1138.8 Mm.)
Bei 100 Gr. Belastung eine Fortpflanzungsgeschw. von 1321.7 Mm.
(Max. 1658.4, Min. 1013.7 Mm.)

Es geht hieraus mit Gewissheit hervor, dass mit der Vermehrung der Belastung jedenfalls keine Verlangsamung im Fortschreiten der Contraction erfolgt. Darauf, dass die erhaltenen Zahlen bei 35 und 100 Gr. etwas höher sind als bei 5 Gr., darf kein Gewicht gelegt werden. Sie rühren von einzelnen ungewöhnlich hohen Werthen her, die in der Reihe sich finden und bei der Berechnung nicht, wie es früher geschah, unberücksichtigt gelassen wurden. Weiter als 100 Gr. liess die Belastung wegen zu bedeutender Erniedrigung der Hubhöhe sich nicht treiben. Es darf indessen wohl angenommen werden, dass das Verhalten kein anderes gewesen wäre und dass die Belastung den Gang der Contractionswelle in keiner Weise zu beeinträchtigen vermag. Auch hier mögen zur Veranschaulichung des Ganzen einige Belege ihre Stelle finden.

---

[1]) Messungen über den zeitlichen Verlauf der Zuckung animalischer Muskeln und die Fortpflanzungsgeschwindigkeit der Reizung in den Nerven. Archiv für Anatomie und Physiologie von J. Müller. Jahrgang 1850. pag. 323 und ff.

I. Der Frosch vergiftet um $10^{h.}$ 24′, getödtet um $10^{h.}$ 39′.
Belastung 35 Gr.

Die Fortpflanzungsgeschwindigkeit der Contraction beträgt:

um $10^{h.}$ 45′ . . .	1209.6	Mm.
$10^{h.}$ 57′ . . .	998.4	„
$11^{h.}$ 15′ . . .	663.6	„
$11^{h.}$ 18′ . . .	661.2	„

II. Der Frosch vergiftet um $9^{h.}$ 35′, getödtet um $10^{h.}$ 0′.
Belastung 35 Gr.

Die Fortpflanzungsgeschwindigkeit der Contraction beträgt:

um $10^{h.}$ 7′ . . .	1596	Mm.
$10^{h.}$ 9′ . . .	1489.2	„
$10^{h.}$ 13′ . . .	1209.6	„
$10^{h.}$ 16′ . . .	1190.8	„
$10^{h.}$ 30′ . . .	942	„

III. Der Frosch vergiftet um $9^{h.}$ 16′, getödtet um $9^{h.}$ 56′.
Belastung 100 Gr.

Die Fortpflanzungsgeschwindigkeit der Contraction beträgt:

um $10^{h.}$ 7′ . . .	1152	Mm.
$10^{h.}$ 15′ . . .	898.6	„
$10^{h.}$ 23′ . . .	826.8	„
$10^{h.}$ 37′ . . .	789.9	„

IV. Der Frosch vergiftet um $12^{h.}$ 22′, getödtet um $1^{h.}$ 51′.
Belastung 100 Gr.

Die Fortpflanzungsgeschwindigkeit der Contraction beträgt:

um $2^{h.}$ 0′ . . .	1658.4	Mm.
$2^{h.}$ 7′ . . .	1282.8	„
$2^{h.}$ 24′ . . .	1106.4	„

V. Der Frosch vergiftet um $10^{h.}$ 13′, getödtet um $11^{h.}$ 22′.
Belastung 100 Gr.

Die Fortpflanzungsgeschwindigkeit der Contraction beträgt:

um $11^{h.}$ 30′ . . .	1282.8	Mm.

um 11h. 38′ . . . 1275.6 Mm.
11h. 53′ . . . 212.6 „
11h. 55′ . . . 138.2 „

Also auch hier überall derselbe Gang, wie in den früher angeführten Fällen. Der Grad der Abnahme ist ein sehr verschiedener, je nachdem der Muskel der Einwirkung des Gewichtes mehr oder weniger zähe zu widerstehen vermag.

Die Untersuchung in Betreff des Einflusses verschiedener Stromstärken ist insofern misslicher, als mit der Zunahme der letztern auch die Gefahr der Stromschleifen wächst. Durch solche könnte aber natürlich sehr leicht eine scheinbare Vermehrung der Fortpflanzungsgeschwindigkeit eintreten. Es darf daher auch der Inductionsschlag nur so weit gesteigert werden, dass die zu untersuchende Muskelstrecke noch mit Sicherheit ausserhalb seines Bereiches fällt. Der Fall wird sich um so günstiger stellen, je längere Muskeln zum Experimente verwendet werden. In unsern Fällen konnte der Schlitten aus der Stellung der geringsten Stromstärke um 57 Millimeter gegen die primäre Rolle hin verschoben werden,[1]) ohne dass von Stromschleifen etwas zu besorgen gewesen wäre. Der Versuch wurde so angestellt, dass ein und derselbe Muskel abwechselnd mit stärkern und schwächern Strömen geprüft wurde. Das Resultat war in beiden Fällen durchaus dasselbe. Es traten keine andern Grössenunterschiede ein als die unregelmässigen Schwankungen, welche in den Fehlerquellen der Methode ihren Grund haben. Die Veränderung der Reizungsstärke ist also innerhalb der angeführten Grenzen ebensowenig von Einfluss auf den Gang der Contractionswelle als die Belastung.

Alle bisherigen Versuche sind an solchen Fröschen angestellt, die bald nach Eintritt der vollständigen Vergiftung getödtet wurden. Eine besondere Versuchsreihe sollte dazu

---

[1]) Die beiden Rollen eines ziemlich grossen Dubois'schen Schlittenapparates deckten sich dabei fast vollständig. Als Batterie dienten zwei mit der primären Spirale durch ungefähr 100 Fuss kupfernen Leitungsdrahtes (von 1 Mm. Dicke) verbundene Daniell'sche Elemente.

dienen, festzustellen, in welcher Weise die Muskeln bei längerer Dauer derselben sich verhalten möchten. Es stellte sich dabei constant heraus, dass ein Einfluss erst geraume Zeit nach der Einführung des Giftes in den Körper hervortritt. Selbst seit Stunden (6 und 7) schlaff daliegende Frösche verhielten sich nicht anders als frühzeitig getödtete. Nur nach langen Zeiträumen, nach vierundzwanzig und mehr Stunden sank die Grösse allmälig. Es ergibt sich solches aus folgenden Versuchsreihen, die der Sendung A entnommen sind; die normale Fortpflanzungsgeschwindigkeit dafür haben wir auf 815.9 Millimeter angegeben. Die Belastung war durchgängig die normale von 5 Grammen.

I. Der Frosch vergiftet um $11^{h.}$ 2′, getödtet Tags darauf um $9^{h.}$ 20′.

Die Fortpflanzungsgeschwindigkeit der Contraction beträgt:

um	$9^{h.}$ 34′ . . .	271.6 Mm.
	9^{h} 38′ . . .	261.8 „
	$9^{h.}$ 45′ . . .	216.7 „
	$9^{h.}$ 55′ . . .	233.2 „
	$10^{h.}$ 28′ . . .	235.4 „

II. Der Frosch vergiftet um $11^{h.}$ 0′, getödtet Tags darauf um $10^{h.}$ 11′.

Die Fortpflanzungsgeschwindigkeit der Contraction beträgt:

um	$10^{h.}$ 26′ . . .	580.8 Mm.
	$10^{h.}$ 35′ . . .	500.4 „
	$10^{h.}$ 49′ . . .	534.6 „
	$11^{h.}$ 7′ . . .	407 „
	$11^{h.}$ 43′ . . .	216.7 „
	$12^{h.}$ 18′ . . .	269.5 „

III. Der Frosch vergiftet um $11^{h.}$ 0′, getödtet zwei Tage darauf um 11^{h} 39′.

Die Fortpflanzungsgeschwindigkeit der Contraction beträgt:

um	$11^{h.}$ 50′ . . .	632.5 Mm.
	$12^{h.}$ 1′ . . .	633.6 „

um $12^{h.}$ 13′ . . . 583.2 Mm.
$12^{h.}$ 20′ . . . 341 „
$12^{h.}$ 31′ . . . 359.7 „
$12^{h.}$ 37′ . . . 253 „

IV. Der Frosch vergiftet um $12^{h.}$ 21′, getödtet zwei Tage darauf um $11^{h.}$ 10′.

Die Fortpflanzungsgeschwindigkeit der Contraction beträgt:

um $11^{h.}$ 20′ . . . 633.6 Mm.
$11^{h.}$ 34′ . . . 301.4 „
$11^{h.}$ 43′ . . . 271.7 „
$12^{h.}$ 9′ . . . 257.4 „
$12^{h.}$ 25′ . . . 240.9 „

V. Der Frosch vergiftet um $12^{h.}$ 21′, getödtet zwei Tage darauf um $1^{h.}$ 30′.

Die Fortpflanzungsgeschwindigkeit der Contraction beträgt:

um $1^{h.}$ 42′ . . . 669.9 Mm. (?)
$1^{h.}$ 48′ . . . 413.6 „
$2^{h.}$ 1′ . . . 358.6 „
$2^{h.}$ 3′ . . . 316.8 „
$2^{h.}$ 25′ . . . 337.7 „

VI. Der Frosch vergiftet um $12^{h.}$ 21′, getödtet drei Tage darauf um $9^{h.}$ 50′.

Die Fortpflanzungsgeschwindigkeit der Contraction beträgt:

um $10^{h.}$ 1′ . . . 535.7 Mm.
$10^{h.}$ 10′ . . . 431.2 „
$10^{h.}$ 16′ . . . 374 „
$10^{h.}$ 23′ . . . 324.6 „
$10^{h.}$ 32′ . . . 265.1 „
$11^{h.}$ 34′ . . . 242 „

Es ist gewiss auffallend, wie gering der Einfluss selbst langer Zeiträume sich gestaltet. Gleichmässig ist derselbe freilich auch hier nicht, wie eine Vergleichung der Reihen I. und VI. lehrt, wo die Fortpflanzungsgeschwindigkeit binnen einem Tage viel beträchtlicher gesunken war als binnen dreien; das

Resultat ist eben ein anderes nach individuellen unberechenbaren Verhältnissen. Die langsame Abnahme der Grössenwerthe lässt wohl keinen Zweifel darüber, dass wir es hier keineswegs mit einer directen Einwirkung des Giftes zu thun haben. Es ist vielmehr dieselbe Erscheinung, die uns bis jetzt in allen Reihen, nur rascher wirkend, entgegentrat, die Erscheinung des allmäligen Absterbens. Der Einfluss des Giftes ist also ein indirecter, in der Weise, dass er den Tod des Individuums herbeiführt. Nach dem Zeitpunkte, wo dieser eintritt, muss sich auch die Geschwindigkeit richten, womit der Muskel seine Eigenschaften ändert.

Bei all den bisherigen Versuchen sind die Veränderungen der Fortpflanzungsgeschwindigkeit der Muskelzuckung nur bis zu einer gewissen Grenze, niemals aber bis zum vollständigen Tode des Muskels verfolgt worden. Letzteres findet in technischen Schwierigkeiten seinen Grund; die Zuckungsgrösse wird nämlich zuletzt so gering, die Hubhöhe so unbedeutend, dass die erhaltenen Curven sich nicht mehr verwerthen lassen. Wir brauchen uns darüber auch nicht sehr zu grämen, da wir gewiss mit voller Sicherheit annehmen dürfen, dass auch jenseits der errichteten Schranken das gleiche Gesetz der Abnahme in Kraft bleibe, und dass demnach die Fortpflanzungsgeschwindigkeit schliesslich gleich Null werde. Damit ist denn auch natürlich jede Zuckung von einer lokalen Reizungsstelle aus zur Unmöglichkeit geworden.

Der Gang der Abnahme ist innerhalb der einzelnen Reihen nicht ein gleichmässiger, wie schon ein oberflächlicher Blick auf die mitgetheilten Beispiele lehrt. Ein bestimmtes Gesetz habe ich nicht auffinden können, doch gewann ich im Allgemeinen den Eindruck, als ob sie anfänglich rascher, später dagegen langsamer erfolgte.

b. Unvergiftete Muskeln.

Die Untersuchung der Contractionsweise unvergifteter Muskeln ist von der grössten Wichtigkeit, da sich, gegenüber den

Erfahrungen an vergifteten, möglicherweise Aufschlüsse über den Zusammenhang zwischen Muskel- und Nervenfaser ergeben werden. Sie hat einen doppelten Weg einzuschlagen, indem die Verkürzung direct oder indirect, durch Application des Reizes auf den Muskel selbst oder aber auf den Nerven veranlasst werden kann. Wir beginnen mit der erstern.

a. Directe Reizung der Muskelfaser.

An den zu untersuchenden Muskeln wird der Nerv, zur Vermeidung störender Zuckungen, dicht an seiner Eintrittsstelle abgeschnitten. Die Anordnung des Versuches geschieht auf dieselbe Weise wie bei vergifteten Individuen. Es ist kaum nöthig zu bemerken, dass ein Reiz, der die ganze Länge des Muskels durchfliesst, auch hier gleichzeitige Verkürzung aller Abschnitte bedingt. Wird ein solcher dagegen lokal beschränkt, so hebt sich ohne Ausnahme der ihm nähere Hebel früher als der entferntere, wodurch wiederum ein Fortschreiten der Contractionswelle bewiesen wird. Zahlreiche Versuche haben ergeben, dass solches mit derselben Geschwindigkeit wie innerhalb vergifteter Muskeln erfolge. Eine Anzahl von unvergifteten Fröschen derselben Sendung, die zur Gewinnung der Reihe A gedient hatte, ergab einen Secundenwerth von 862.4 Mm. (Max. 1146.4, Min. 782.1 Mm.), eine Grösse, die in Anbetracht der bedeutenden individuellen Schwankungen mit der früher gefundenen von 815.9 Mm. als identisch betrachtet werden muss. Bei den spätern Sendungen habe ich keine ausgedehntern Versuche über diesen Gegenstand mehr angestellt, jedoch nicht versäumt, mich davon zu überzeugen, dass in der Fortpflanzungsgeschwindigkeit der Zuckung zwischen vergifteten und unvergifteten Muskeln kein wesentlicher Unterschied bestand. Auch hier mögen einige Belege folgen.

I. Der Frosch getödtet um $1^{h.}$ 13′.

Die Fortpflanzungsgeschwindigkeit der Contraction beträgt:

um 1^{h} 23′ . . . 821.7 Mm.

um $1^{h.}$ 27′ . . . 924.2 Mm.
$1^{h.}$ 43′ . . . 471.8 „
$1^{h.}$ 51′ . . . 512.6 „
$2^{h.}$ 0′ . . . 422.4 „
$2^{h.}$ 7′ . . . 407 „
$2^{h.}$ 25′ . . . 212.2 „
$2^{h.}$ 33′ . . . 240.9 „
$2^{h.}$ 51′ . . . 211.2 „

II. Der Frosch getödtet um $11^{h.}$ 6′.

Die Fortpflanzungsgeschwindigkeit der Contraction beträgt:
um $11^{h.}$ 16′ . . . 1003.2 Mm.
$11^{h.}$ 20′ . . . 950.4 „
$11^{h.}$ 28′ . . . 633.6 „
$11^{h.}$ 38′ . . . 496.1 „
$11^{h.}$ 45′ . . . 528 „

III. Der Frosch getödtet um $1^{h.}$ 56′.

Die Fortpflanzungsgeschwindigkeit der Contraction beträgt:
um $2^{h.}$ 5′ . . . 782.1 Mm.
$2^{h.}$ 9′ . . . 596.2 „
$2^{h.}$ 23′ . . . 489.5 „
$3^{h.}$ 6′ . . . 415.8 „
$3^{h.}$ 11′ . . . 452.1 „

IV. Der Frosch getödtet um $11^{h.}$ 39′.

Die Fortpflanzungsgeschwindigkeit der Contraction beträgt:
um $11^{h.}$ 49′ . . . 808.3 Mm.
$11^{h.}$ 59′ . . . 668.8 „
$12^{h.}$ 11′ . . . 407 „
$12^{h.}$ 16′ . . . 407 „

Die Reihen sprechen zu deutlich, als dass nöthig wäre, erläuternde Worte hinzuzufügen. In allen ergibt sich das merkwürdige Resultat, dass das Verhalten vergifteter und un-

vergifteter Muskeln genau dasselbe ist. Mit gutem Gewissen glaubte ich deshalb auch die Versuche mit verschiedener Belastung und wechselnder Reizungsgrösse unterlassen zu dürfen; der Erfolg lässt sich voraussehen.

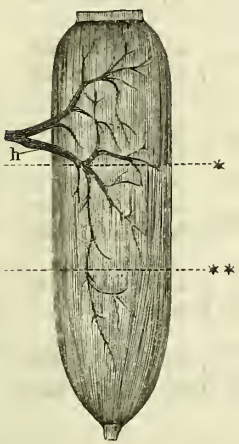
β. Indirecte Reizung der Muskelfaser durch den Nerven.

Bei der Mangelhaftigkeit unserer Kenntniss über den Zusammenhang zwischen Muskel- und Nervenfaser lässt sich der Gang einer durch Nervenreiz bedingten Contraction nicht vorhersagen. Aus früher (pag. 32) entwickelten Gründen sind wir deshalb auch genöthigt, dem Muskel eine allseitige Beweglichkeit zu verschaffen. Es geschieht dies, indem wir den Zangenapparat (*f*, Fig. 1 p. 17) durch eine zweite Rolle ersetzen und demnach auch das zweite Muskelende mit einer belasteten Wagschale in Verbindung setzen. Wir erhalten dann eine Anordnung, wie sie in Figur 7 (pag. 26) allerdings in einem andern Apparate und zu andern Zwecken dargestellt ist. Der Nerv wird bis gegen das Hüftgelenk herauspräparirt und in dem Apparate über die beiden Zuleitungsdrähte (p. 22, Fig. 5. *z*, *z'*), die jetzt natürlicherweise den Muskel nicht mehr berühren dürfen, herübergebrückt. Um ihn vor raschem Austrocknen zu schützen, wird er mit einem Stückchen Muskelfleisch bedeckt. An welcher Stelle wir die beiden Hebel nun auch immer aufsetzen mögen, ihre Hebung findet bei jeder Verkürzung stets gleichzeitig statt. Hieraus ergibt sich, dass der durch den Nerv gereizte Muskel in allen seinen Theilen in ein und demselben Momente in den contrahirten Zustand versetzt wird, ein bedeutsamer Unterschied von seinem Verhalten nach der Einwirkung directer Reize.

Es war nun von Wichtigkeit zu untersuchen, wie die Sache sich wohl gestalten möchte, wenn es gelingen sollte, den Muskel eines Theiles seiner Nerven zu berauben, mithin den Reiz ebenfalls mehr oder weniger lokal zu beschränken. Auch in dieser Hinsicht ist unser adductor magnus ein günstiges Versuchsobject. Der Muskelnerv theilt sich nämlich (Figur 8) kurz vor seinem Eintritt in den Muskel in der Regel in zwei Aeste,

wovon der eine zum obern, der andere zum untern Muskelende hinzieht.[1]) Immer ist dies freilich nicht der Fall, und solche Präparate sind dann zu dem Versuche untauglich. Wird nämlich der eine oder der andere der beiden Aeste entzweigeschnitten, so wird dadurch sein ganzer Ausbreitungsbezirk dem Einflusse des den Hauptstamm treffenden Reizes entzogen und gleichsam nervenlos gemacht. Da der Nerv am Ende des obern Drittheiles eintritt, so pflege ich den untern Nervenast (Fig. 8, *h*) zu durchschneiden, um ein längeres Muskelstück zur Verfügung zu erhalten; auf dieses werden beide Hebel unseres Apparates (in * und **) aufgesetzt. Um ganz sicher zu gehen, wurde immer zuerst bei unversehrtem Nerv gereizt und es ergab sich dann das bereits erwähnte Resultat einer gleichzeitigen Hebung beider Hebel. Hierauf durchschnitt ich, ohne den Muskel in seiner Lage im Geringsten zu ändern, den untern Nervenast. Auch jetzt umfasste bei Reizung des Nervenstammes die Zuckung den ganzen Muskelkörper, aber die Hebungszeiten der beiden Hebel waren andere geworden, indem ganz constant die dem nervenhaltigen Muskelstücke näher liegende Curve früher anstieg als die entferntere. Einige der Versuche finden sich in Folgendem zusammengestellt. T bedeutet dabei die Zeit, welche zwischen der Hebung der beiden Hebel verfloss.

Figur 8.



---

[1]) Es braucht kaum besonders darauf aufmerksam gemacht zu werden, dass in der beigegebenen Abbildung die Verästelungsweise des Nerven durchaus schematisch gehalten ist. Statt der hier dargestellten einfachen Bifurcation des eintretenden Nervenstammes findet sich sehr häufig eine mehrfache in der Art, dass zu jedem Muskelende mehrere Nervenäste hinziehen. Auf unser Experiment wirkt dies nicht störend ein, wenn nur sämmtliche Aeste der betreffenden Seite zerstört werden.

Nummer des Versuches.	Der Nerv unversehrt.	Der Nerv theilweise durchschnitten.
I.	T = 0 Sec.	T = { a) 0.0043 Sec. b) 0.0043 Sec.
II.	T = 0 Sec.	T = { a) 0.0070 Sec. b) 0.0048 Sec.
III.	T = 0 Sec.	T = { a) 0.0050 Sec. b) ?
IV.	T = 0 Sec.	T = { a) 0.0076 Sec. b) 0.0079 Sec.
V.	T = 0 Sec.	T = { a) 0.0053 Sec. b) ?
VI.	T = 0 Sec.	T = { a) 0.0054 Sec. b) 0.0077 Sec.

Demnach ist die Thatsache nichts weniger als zweifelhaft. Sicher lässt sie keine andere Erklärung zu, als dass mit der Entfernung eines Theiles der Nerven der Gang der Verkürzung ein anderer geworden ist und zwar in der Art, dass nun wiederum ein Fortschreiten derselben stattfindet. Sie beginnt in dem nervenhaltigen Abschnitte und breitet sich von hier aus mit messbarer Geschwindigkeit über den nervenlosen aus. Freilich wenn wir die gefundenen Zeitunterschiede mit denjenigen vergleichen, die sich für die gegebenen Muskelstrecken aus der früher gefundenen Fortpflanzungsgeschwindigkeit berechnen lassen, so ergeben sie sich durchgängig und zwar im Mittel um ein Drittheil zu klein. Es könnte somit den Anschein gewinnen, als wäre hier die Fortpflanzungsgeschwindigkeit selbst eine grössere gewesen. Eine nähere Betrachtung der Verhältnisse lehrt jedoch diesen Unterschied als einen nur scheinbaren erkennen. Im Allgemeinen beschränken sich nämlich die beiden Theilungsäste des Nerven allerdings auf die betreffende Muskelhälfte, indessen ist die Grenze zwischen beiden doch nicht so scharf gezogen, dass nicht mannigfaltige Uebergriffe (wie solches auch in der Abbildung angedeutet ist) in fremdes Gebiet stattfänden und

somit an der Grenze zwischen beiden Reichen ein neutraler Grund sich hinzöge, der seine Nervenfäden sowohl von der einen als von der andern Seite her erhält. Die Breite dieser Strecke muss sich auf beide Seiten neben dem Nerveneintritt vertheilen, im übrigen aber mannigfaltig individuell variiren. Die Zerschneidung der einen Nervenhälfte wird natürlich dieses Stück nur derjenigen Fasern berauben können, die von ihr ausgehen, die übrigen aber unversehrt lassen. Die Kürze des zu untersuchenden Muskels zwingt uns nun, den einen Hebel dicht bis an die Stelle des Nerveneintrittes heranzurücken, mithin bis in den Bereich des neutralen Bodens zu bringen. Ein Theil desselben muss dadurch zwischen die beiden Hebel hineinfallen. So weit aber die Nerven erhalten sind, ist die Verkürzung eine gleichzeitige, und es wird folglich auch ein Fortschreiten erst von dem Endpunkte des neutralen Stückes ausgehen können. Die Folge eines solchen Verhältnisses ist nothwendig die beobachtete Verkürzung der Zeitdifferenz und die scheinbar vermehrte Fortpflanzungsgeschwindigkeit der Contractionswelle. Wäre der Muskel lang genug, um beide Hebel aus dem Bereiche des neutralen Gebietes zu rücken, so würde ganz bestimmt die gefundene Differenz von der berechneten in keiner Weise abweichen.

Die Verwerthung dieser wichtigen Thatsache, wie überhaupt auch aller übrigen, sparen wir für später auf.

c. Wirkung einiger Gifte.

In den bisher betrachteten Fällen haben wir eine Verminderung der Fortpflanzungsgeschwindigkeit der Contraction zwar als Folge des langsamern oder raschern Absterbens kennen gelernt, jedoch gesehen, dass das Curare in dieser Beziehung vollständig neutral sich verhält. In der That wird dasselbe ja auch von allen Autoren als ein einfaches Nervengift aufgefasst. In neuerer Zeit wurden ihm gegenüber andere Substanzen aufgestellt, welche direct auf die Muskelsubstanz ein-

wirken sollten und deshalb auch den Namen von Muskelgiften erhalten haben. Es sind dies das Upas Antiar,[1]) das Veratrin[2]) und die Blausäure.[3]) Ersteres verdanke ich der Güte des Herrn Prof. His in Basel; an die Stelle des letztern glaubte ich, unbeschadet des Erfolges, das leichter zu handhabende Cyankalium setzen zu dürfen. Aus äussern Gründen habe ich meine Versuche leider auf eine geringe Zahl einschränken müssen. Die folgenden Mittheilungen sind deshalb auch weit entfernt davon, Anspruch auf Vollständigkeit machen zu wollen. Es lag mir überhaupt weniger daran, das Thema zu erschöpfen, als vielmehr durch Gewinnung einiger Anhaltspunkte die Aufmerksamkeit der Physiologen auf diesen Gegenstand zu leiten. Welch hohes Interesse derselbe für die Wissenschaft besitzt, braucht nicht hervorgehoben zu werden.

Die folgenden Versuche sind sämmtlich an Fröschen angestellt, bei welchen die mittlere Fortpflanzungsgeschwindigkeit der Zuckungswelle eine ziemlich hohe, nämlich ungefähr 1370 Mm. in der Secunde war. Bei sämmtlichen wurde das Gift in starken, doch nicht genau abgemessenen Dosen unter die Rückenhaut gebracht. Die Wirkung konnte demnach nicht überall der Zeit proportional sein, sondern musste bei den einen früher, bei den andern später ihren Gipfelpunkt erreichen. Künftige Versuche müssten auch hierauf Rücksicht nehmen.

α. Upas Antiar.

Die Thiere wurden in verschiedenen Perioden nach ihrer Vergiftung untersucht. Es stellte sich dabei heraus, dass nach bereits eingetretener Lähmung noch geraume Zeit die in Frage stehende Grösse keinerlei Veränderung erlitten hatte. Eine Reihe

---

[1]) Einige Bemerkungen über die Wirkung des Upas Antiar. Von A. Kölliker. Verhandl. der physikalisch-medizinischen Gesellschaft in Würzburg. Bd. 8 (1858) pag. 284 u. ff.

[2]) Physiol. Unters. über die Wirkung einiger Gifte. Von A. Kölliker. Archiv f. path. Anat. und Physiol. Bd. 10 (1856) pag. 257 u. ff.

[3]) Ibid. pag. 272 u. ff.

von Fröschen ergab noch anderthalb bis zwei Stunden nach der Einführung des Giftes eine mittlere Geschwindigkeit von 1368 Millimeter, also eine Grösse, die der normalen durchaus gleichkam. Erst später trat dann ein allmäliges Sinken ein, doch so langsam, dass ich eher geneigt sein möchte, dasselbe wie bei dem amerikanischen Pfeilgifte der allgemeinen Destruction des Organismus, als einer directen Einwirkung des Giftes selbst zuzuschreiben. Wäre letzteres der Fall, überhaupt das Upas ein so entschiedenes Muskelgift, so sollte man denken, dass es sich den Muskeln gegenüber wie das Curare den Nerven gegenüber verhalten würde, wo bekanntlich eine Herabsetzung der Fortpflanzungsgeschwindigkeit des Reizes gleich von vornherein sehr entschieden sich ausspricht.[1])

β. Veratrin.

Auch hier zeigte sich die Einwirkung des Giftes in einer allgemeinen Lähmung des Körpers, noch bevor die fragliche Grösse wesentliche Einflüsse erlitten hatte. Doch änderte sie sich weit früher als bei Upas und zwar zu einer Zeit, wo noch ziemlich kräftige Reaction auf äussere Reize erfolgte. Es scheint demnach hier in der That ein directer Einfluss auf die Muskeln, allerdings in Verbindung mit andern Affectionen, stattzufinden. Folgende drei Reihen veranschaulichen den Fortschritt der Veränderungen. Zeitangaben gebe ich keine, da sie bei der Ungleichheit der angewandten Dosen vollkommen werthlos und sehr schwankend sind.

I. Die Thiere wurden im Stadium unvollständiger Lähmung getödtet. Es ergab sich in vier Versuchen eine Secundengeschwindigkeit von:

1190.2 und 1219.2 Mm.
1419.6 und 1480.8 „

---

[1]) v. Bezold, Unters. über die Einwirkung des Pfeilgiftes auf die motorischen Nerven. Archiv für Anatomie und Physiologie. 1860. pag. 168.

1057.2 und 945.6 Mm.
1489.8 und 1480.8 „

folglich eine mittlere Geschwindigkeit von 1285.4 Mm.

II. Die Thiere wurden bald nach dem Eintritt einer starken Lähmung getödtet.

Die Fortpflanzungsgeschwindigkeit betrug in zwei Versuchen:

1090.8 und 1219.2 Mm.
1209.6 und 1197.6 „

Im Mittel 1179.3 Mm.

III. Die Thiere wurden erst längere Zeit nach vollständig eingetretener Lähmung getödtet. Die gefundenen Zahlen waren in fünf Versuchen:

691.2 und 716.4 Mm.
(855.6) und 691.2 „
? und 945.6 „
1036.8 und 872.4 „
806.4 und 921.6 „

Sie entsprechen einer mittlern Grösse von 835.2 Mm.

Eine geringe Herabsetzung scheint allerdings schon bei I. und II. stattgefunden zu haben, indessen sind die Reihen zu kurz, um sichern Schlüssen als Basis dienen zu können. Ueber die Bedeutung des Resultates III. kann dagegen Niemand im Zweifel sein.

γ. Cyankalium.

Cyankalium scheint in seiner Wirkung durchaus an das Veratrin sich anzuschliessen. Eine Herabsetzung wurde beobachtet, doch in höherm Grade und als sicheres Resultat erst beträchtliche Zeit nach Eintritt der allgemeinen Lähmung und Erschlaffung. Ich habe mich auch hier nur an die physiologischen Erscheinungen, nicht aber an die Vergiftungszeit gehalten, da letzterer bei der Ungleichheit der angewendeten Dosen keine Bedeutung zukommt. Es mögen der Vollständigkeit halber zunächst zwei Versuche mit zweifelhaftem Resultate hier ihren Platz finden. Der erste Frosch wurde während eines heftigen Tetanus, der zweite zu einer Zeit getödtet, wo noch

schwache spontane Bewegungen vorhanden waren. Die gefundenen Grössen sind:

1090.8 und 1284 Mm.
1138.8 und 1284 „

Ein weit bestimmteres Resultat ergab sich in den folgenden sieben Fällen, wo die Lähmung bereits Stunden lang angedauert hatte und die Reaction sowohl von den Nervenstämmen als vom Rückenmark aus bereits stark geschwächt war. Es fanden sich nämlich als Secundengeschwindigkeit:

720 und 648 Mm.
542.4 und ? „
898.6 und 967.7 „
998.4 und 975.8 „
967.7 und 841.4 „
762.6 und 810.4 „
628.8 und ? „

Es entspricht dies einer mittlern Grösse von 813.5 Mm.

Demnach steht wohl fest, dass die genannten Gifte früher oder später eine nachtheilige Wirkung auf den Gang der Muskelverkürzung ausüben. Wie viel davon aber auf ihre eigene Rechnung, wie viel auf die allgemeine Affection des ganzen Organismus zu setzen ist, das kann erst durch künftige einlässlichere und sorgfältigere Untersuchungen festgestellt werden.

d. Versuche an der Schildkröte und am Kaninchen.

Von so bedeutendem Interesse es auch gewesen wäre, die im Vorhergehenden besprochenen Verhältnisse an verschiedenen Thierclassen zu prüfen, so musste ein solches Unternehmen aus triftigen Gründen doch unterbleiben. Frösche sind in unsern Gegenden das einzige Material, das sich in genügender Menge leicht und sicher beschaffen lässt. Nur einmal hatte ich Gelegenheit, eine Schildkröte (Testudo europaea) zu benutzen, die ich für todt gehalten hatte, deren Muskeln jedoch nach ihrer Blosslegung noch Contractilität verriethen. Das Thier war

vorher nicht vergiftet worden. Die Retractoren des Kopfes sind ein Object, wie man es für unsere Zwecke nicht besser sich wünschen kann. Der ganze Verkürzungsact verlief mit auffallender Trägheit. Die Fortpflanzung der Contractionswelle nach Anwendung eines lokalen Reizes geschah langsam, nämlich mit nur 570 Mm. Geschwindigkeit im Mittel aus zwei Versuchen. Es kann dies in Rücksicht auf den scheintodten Zustand des Thieres, der schon seit Tagen angedauert hatte, nicht auffallen.

Bei Warmblütern (Kaninchen) scheiterte, wie übrigens vorauszusehen war, der Versuch vollkommen an dem baldigen Erlöschen ihrer Reizbarkeit nach dem Tode. Ich hatte den M. sternocleidomastoideus zur Untersuchung gewählt. Bis derselbe jedoch herauspräparirt und in dem Apparate angebracht war, hatte er seine lebendigen Eigenschaften fast ganz eingebüsst. Demgemäss war auch die gesuchte Grösse auf ein Minimum von 200 Mm. reducirt. Immerhin ist aber auch dieser Befund nicht ohne Interesse. Die obschwebende Frage kann kaum anders gelöst werden, als indem die Muskeln innerhalb des Körpers an Ort und Stelle, freilich nach abgeändertem Verfahren als das bisherige, untersucht werden; es stehen keine unübersteiglichen Schwierigkeiten entgegen. Genaueres kann ich vielleicht später darüber mittheilen. Immerhin scheinen mir die am Frosche gefundenen Thatsachen gewichtig genug, um auch für sich veröffentlicht zu werden. Uebrigens ist gewiss kein Grund und keine Wahrscheinlichkeit vorhanden, dass die Muskeln verschiedener Thiere, wenn nicht in der Grösse der Fortpflanzungsgeschwindigkeit, sich verschieden voneinander verhalten sollten.

e. Dickencurve des Muskels.

Durch Helmholtz ist der Gang der Muskelverkürzung zuerst genauer studirt und eine sogenannte Längencurve des Muskels construirt worden. Ich habe dasselbe für die Verdickung des Muskels versucht, obwohl bei der Constanz des

Volumens ein abweichendes Verhalten sehr unwahrscheinlich war. Zu diesem Zwecke muss das unter Figur 7 dargestellte Tischchen mit dem übergeschobenen Rahmen verwendet werden, weil nur hierbei während der Hebung die den Muskel einschliessenden Linien ihren Parallelismus beibehalten. Bei der Vorrichtung, mit deren Hilfe wir die Fortpflanzungsgeschwindigkeit bestimmt haben, ist solches nicht der Fall. Die Aufsatzstücke treten im Bogen nach vorn, wodurch, wie eine einfache Construction lehrt, der mittlere Abschnitt der Curve zu hoch wird. Zugleich ist es unerlässlich, den Muskel an beiden Enden durch angehängte Wagschalen beweglich und dadurch die Stelle, wo der Rahmen aufliegt, zum festen Punkt zu machen. Bei der Fixirung des Muskels an Einem Ende würde dieser während der Verkürzung verschoben und dadurch eine geringe Hebung des angehängten Hebels veranlasst werden. Bei der Kürze des verbindenden Drahtes müsste eine solche um so empfindlicher wirken, als ja jeder Fehler zufolge der Einrichtung des Apparates um das Zehnfache vergrössert wird. — Der Erfolg entsprach durchaus den gehegten Erwartungen. Bei sorgfältigster Prüfung liess sich kein wesentlicher Unterschied zwischen Dicken- und Längencurve auffinden.

In Beziehung auf letztere möge noch eine Bemerkung nicht ganz überflüssig erscheinen. Aus dem Vorhergehenden ergibt sich nämlich mit Nothwendigkeit, dass sie nicht unter allen Umständen dieselbe Form besitzen kann. Es muss diese vielmehr mit der Reizungsweise wechseln, und zwar muss das Fussstück der aufsteigenden Hälfte geringe Modificationen erfahren, je nachdem der Muskelreiz ein allgemeiner oder aber ein beschränkter war. Dort ist die Summe der thätigen Muskeltheilchen während der ganzen Action dieselbe; es werden gleich anfänglich sämmtliche erregt; hier dagegen findet eine Steigerung der activen Kräfte statt, da die verschiedenen Muskelabschnitte nur successiv in ihrer Wirkung sich summiren. Es ist dies freilich ein Unterschied, der mehr theoretisches als praktisches Interesse besitzt. Die dadurch bewirkten Modifi-

cationen sind so klein, dass es mir nicht gelang, sie bei den betreffenden Curven in der That nachzuweisen. Ein Helmholtz'sches Myographium, das solches zu leisten vermöchte, stand mir leider nicht zu Gebot.

f. Ort der Reizung in der Muskelfaser bei Anwendung von Kettenströmen.

Aus den mitgetheilten Versuchen haben wir erfahren, dass jede von einem Inductionsschlage durchflossene Strecke in all ihren Theilen gleichzeitig in Erregung versetzt wird. Wir haben jedoch versäumt, auch den Fall zu prüfen, wo durch Anwendung von Kettenströmen ein Polaritätsverhältniss zwischen den beiden Zuleitungsdrähten sich ausbildet. In neuester Zeit ist dieser Punkt durch von Bezold[1]) Gegenstand einer experimentellen Untersuchung geworden; aus den Resultaten schien sich zu ergeben, dass die Pflüger'sche Lehre vom Elektrotonus des Nerven in ihren Hauptergebnissen auch auf den Muskel zu übertragen sei. Der genannte Forscher stellte in Folge davon den Satz auf,[2]) dass bei der Anwendung von Kettenströmen die Reizung der Muskelfaser abwechselnd nur an Einem Pole stattfinde, und zwar bei Schliessungszuckung am negativen, bei Oeffnungszuckung dagegen am positiven Pole, und dass demnach auch die Contraction der intrapolaren Strecke nur scheinbar eine in allen Punkten gleichzeitige, in der That aber eine von Pol zu Pol successiv fortschreitende sei. Es muss dem Leser überlassen bleiben, sich im Originale über die Gründe zu unterrichten, welche eine solche Anschauungsweise bedingt haben. Die von Bezold angewendete Methode einer eingehenden Kritik zu unterwerfen, würde hier zu weit führen, doch ist es einleuchtend, dass seine Experimente nicht so einfach und durchsichtig sind, um ohne Weiteres zu den von ihm gezogenen

---

[1]) A. v. Bezold, Untersuchungen über die elektrische Erregung der Nerven und Muskeln. Leipzig. 1861.

[2]) A. a. O. pag. 235 u. ff.

Schlüssen zu berechtigen. Um so mehr erschien es geboten, die Sache nach der von uns im Vorhergehenden geschilderten einfachern und in ihren Resultaten jedenfalls zuverlässigern Methode zu prüfen. Das Verfahren bestand darin, dass beide Hebel unseres Apparates innerhalb der intrapolaren Strecke aufgesetzt wurden, und dass also der eine in der Nähe des positiven, der andere in der Nähe des negativen Poles sich befand. Aus früher entwickelten Gründen wurde die Anordnung stets so getroffen, dass die nach Bezold reizende Elektrode an das freie Ende des Muskels zu liegen kam. Es ist nun klar, dass, wenn die aufgestellte Lehre richtig ist, die an dem reizenden Pole entstehende Contractionswelle den ihr zunächst gelegenen Hebel um ein gewisses Zeitintervall früher heben muss als den entferntern und dass demnach auch die beiden Curvenanfänge um eine der Fortpflanzungsgeschwindigkeit der Contractionswelle und der Rotationsgeschwindigkeit des Cylinders proportionale Abscissenlänge auseinanderfallen müssen. In unserm Falle wäre eine etwaige Zeitdifferenz um so schärfer hervorgetreten, als nicht allein die zwischen den Hebeln eingeschaltete Muskelstrecke eine ziemlich grosse (17 Mm.) war, sondern auch nach Bezold's eigenen Angaben die Fortleitung der Contraction durch den Kettenstrom in ihrer Geschwindigkeit sehr beeinträchtigt wird. Zur Reizung des Muskels wurde eine Kette von 10 Groves verwendet, deren Wirksamkeit durch die Nebenschliessung eines Rheochords in allen möglichen Graden sich abstufen liess. Das Resultat war ein durchaus constantes. Welches auch die Stärke des angewendeten Stromes sein mochte, es erfolgte weder bei Schliessungs-, noch bei Oeffnungszuckung je der geringste Unterschied in der zeitlichen Hebung der beiden Hebel. Daraus ergibt sich unzweifelhaft, dass die Contraction der intrapolaren Strecke in all ihren Querschnitten gleichzeitig erfolgt, dass demnach auch von ihrem Beginn an dem einen, und ihrem Fortschreiten zu dem andern Pole nicht die Rede sein kann. Darin liegt aber zugleich der unumstössliche Beweis, dass die von Bezold versuchte Deutung der von ihm gefun-

denen Thatsachen nicht die richtige sein kann, dass diese vielmehr auf ganz andere Verhältnisse zurückgeführt werden müssen. Welches aber diese Verhältnisse sind, darüber lassen bei der verwickelten Beschaffenheit der Experimente vor der Hand höchstens auf subjective Anschauungsweise gegründete Vermuthungen sich aufstellen; ein Verständniss kann nur durch eingehende experimentelle Untersuchungen erzielt werden. An dem Einen Ergebnisse aber halten wir fest, dass die Reizung des Muskels weder ausschliesslich am positiven, noch ausschliesslich am negativen Pole erfolgt, und dass die Contraction gleich in ihrem ersten Auftreten sämmtliche Theile der intrapolaren Strecke umfasst.

Als Versuchsobject diente wiederum der adductor magnus von mit Curare vergifteten Fröschen.

IV.

SCHLUSSFOLGERUNGEN.

Die Thatsache, dass innerhalb der Muskelsubstanz ein Fortschreiten der Contractionsbewegung stattfindet, kann nicht überraschen, wenn wir uns an die Beobachtungen erinnern, die schon seit geraumer Zeit an den Muskelfasern niedriger Thiere gemacht worden sind. Wir sehen hier ab von jenen makroskopischen Oscillationen ganzer Muskeln, wie sie vielen ältern Autoren bekannt waren, jedoch zu dem Verkürzungsacte selbst nur in einer mittelbaren Beziehung stehen. Wir berücksichtigen vielmehr nur jene zuerst von Bowmann[1]) näher studirte Erscheinung, wo man bei stärkerer Vergrösserung über eine frische isolirte Muskelfaser zeitweise eine Contractionswelle mit grösserer oder geringerer Geschwindigkeit hinweglaufen sieht. Es ist freilich nicht zu leugnen, dass Bowmann noch sehr fremdartige Dinge zusammenwirft und dass er die lebendige Contractionswelle von der todten nicht zu unterscheiden weiss; indessen geht Weber,[2]) seiner eigenen Theorie zu Liebe, offenbar zu weit, wenn er alles als Leichenphänomen aufgefasst wissen will. Auch Matteucci[3]) ist im Irrthum, wenn er sich

[1]) On the Minute Structure and Movements of Voluntary Muscle. By William Bowmann. Philosophical transactions. For the year 1840. Part. I. pag. 488 u. ff.

[2]) A. a. O. pag. 67.

[3]) C. Matteucci, Leçons sur les phénomènes physiques des corps vivants. Paris. 1847. pag. 307.

zu der Ansicht hinneigt, dass derartige Erscheinungen nur zerrissenen und wenigstens an dem einen Ende frei beweglichen Muskelfasern eigen seien; denn schon Bowmann hatte sie an lebenden Thieren beobachtet. In neuester Zeit wurde die Sache von Kühne [1]) wieder eingehend besprochen. Ihm leisteten die Muskeln von Wasserkäfern vorzügliche Dienste. In Ermangelung dieses Materials benutzte ich mit Vortheil die durchsichtigen Beine gewisser kleiner Spinnenarten, an denen sich stundenlang das Phänomen auf's Schönste verfolgen lässt. Es ist dies eine Methode, die in Anbetracht ihres grossen Interesses, das sie für das ganze Muskelleben besitzt, bis jetzt noch nicht so gewürdigt ist, als sie es vielleicht verdient. Ueber den Mechanismus der Contraction haben wir bekanntlich nur Hypothesen, aber keine einzige Thatsache. Es war vor Allem die Physiognomie des entstehenden Wulstes, die mich in hohem Grade überraschte. Das Zusammenrücken der Querstreifen und die Verbreiterung der Muskelfaser an der entsprechenden Stelle sind Dinge, die schon von dem genannten englischen Forscher durchaus naturgetreu beschrieben worden sind. Aber dieses Zusammenrücken der Querstreifen geschieht in eigenthümlicher Weise, zögernd und, wenn ich so sagen darf, beinahe stockend; man gewinnt unmittelbar den Eindruck, als ob diesem Zusammenrücken ein sehr bedeutender Widerstand, der erst überwunden werden muss, sich entgegensetzte. Schon in Bowmann [2]) wurde die Idee rege, dass es sich hier um das Vorhandensein zweier um die Oberherrschaft streitenden Kräfte handle. Auf dem Höhenpunkt seiner Bildung scheint der Wulst einen Augenblick stehen zu bleiben, um dann plötzlich in der Weise sich zu theilen, dass die ausgebuchtetste Stelle in die frühere Gleichgewichtslage rasch zurücksinkt, die

---

[1]) W. Kühne, Unters. über Bewegungen und Veränderungen der contractilen Substanzen. Arch. für Anat. u. Phys. 1859. pag. 571.

[2]) A. a. O. pag. 490 ... the movements are such as to convey the idea of opposing forces struggling for the mastery, and they do not cease till the whole fasciculus is contracted to less than half its original length.

beiden Wulsthälften aber auseinandertreten und in entgegengesetzter Richtung gegen beide Faserenden hingleiten. Der mittlere Theil kehrt sofort zur vollständigen Ruhe zurück. Das Abschwellen des Wulstes geschieht bei Weitem rascher als das Anschwellen. Es ist als ob jene feindliche Kraft, die dem Zusammenrücken der Querstreifen widerstrebte, ihr Auseinandertreten beschleunigte; solches erfolgt immer mit einem plötzlichen Rucke. Um den ganzen Vorgang zu veranschaulichen, kenne ich kein passenderes Bild als einen Kautschukball, der mühsam zusammengepresst, sobald es ihm gestattet ist, in die ursprüngliche Gleichgewichtslage zurückschnellt. Ob bei der Contraction eine ähnliche elastische Kraft überwunden werden muss, weiss ich nicht. Jedenfalls ist es nicht unmöglich. Wir sind nicht im Stande, das Gesagte vor der Hand zu verwerthen; immerhin halte ich es von grösster Bedeutung für die Muskelphysiologie. Wie von kräftigem Stosse getrieben, rollen die Wulsthälften nunmehr als selbständige Wellen weiter. Ihre Grösse bleibt dieselbe, da sie an ihrem hintern Ende immer um so viel abschwellen, als sie an ihrem vordern anschwellen, analog der Wasserwelle, die einen geschlossenen Schlauch durchläuft. Es ist, wie Bowmann[1]) sich bezeichnend ausdrückt, als wäre die zusammenziehende Kraft des Wulstes eine beschränkte, die auf einmal nur eine gewisse Menge der Muskelsubstanz zu bewältigen vermöchte. Ob während des Lebens der Vorgang in gleicher Weise geschehe wie nach dem Tode, darüber konnte Bowmann zu keiner absoluten Gewissheit kommen. Doch hielt er es für sehr wahrscheinlich (a. a. O. pag. 491 und 494). Durch unsere mitgetheilten Erfahrungen ist solches zur Gewissheit geworden. Dieselben untereinander in Einklang zu bringen und wo möglich zu einem schematischen Bilde zusammenzufassen, ist das Endziel unserer Aufgabe.

---

[1]) A. a. O. pag. 490. It would almost appear as if the contractile force of the spot were limited; able only to engage a certain amount of the mass; so that, as fresh portions were assumed on the one end, some were relinquished on the other.

Wir treten hier zunächst an eine Frage heran, an deren Beantwortung seit Langem ein ungewöhnlicher Aufwand von Scharfsinn und Arbeit gesetzt worden ist, ohne sie endgiltig entscheiden zu können, an die Frage, ob der Muskelsubstanz eine eigene Irritabilität zukomme oder nicht. Es kann uns nicht daran liegen, sie allseitig zu beleuchten und schon oft Gesagtes zu wiederholen. Nur insofern sie unsern Gegenstand beschlägt, verlangt sie unsere Aufmerksamkeit. An und für sich ist kein Grund vorhanden, a priori die eine oder die andere Ansicht zu verwerfen. Es war die Uebereinstimmung der Erscheinungen, die vollkommene Gleichheit, womit die Reize sowohl direct als vom Nerven aus eine Zuckung auszulösen schienen, welche die Ansicht veranlasste, dass letzterer in beiden Fällen das vermittelnde Glied sei. Differenzen von untergeordneter Bedeutung konnten nicht entscheidend einwirken. Erst Schiff[1]) hob vor nicht langer Zeit einen wesentlichen Unterschied in dem Erfolge directer und indirecter Reizung hervor, indem jene eine locale, diese eine allgemeine Verkürzung bedingen sollte. Es ist dies die vielbesprochene idiomuskuläre und neuromuskuläre Contraction, welche von ihrem Begründer bekanntlich zur Aufstellung einer besondern Muskelreizbarkeit benutzt worden ist. Mit nach meinem Dafürhalten überzeugenden Gründen und Thatsachen ist diese Lehre von Kühne[2]) erschüttert worden, indem er vor Allem nachzuweisen suchte, dass der Charakter der Contraction derselbe sei, ob der Reiz den Nerv oder aber die Muskelsubstanz direct zum Angriffspunkt nimmt; auf der andern Seite zeigen aber seine Versuche, dass die gerühmte Uebereinstimmung in der Wirkung verschiedener Agentien auf Muskel und Nerv nicht vorhanden, dass vielmehr eine sehr beträchtliche Verschiedenheit zu constatiren sei. Daher tritt auch er für die geächtete Muskelirritabilität ein. Unsere eigenen Er-

[1]) Schiff, Lehrbuch der Physiologie des Menschen. I. Theil. Lahr. 1858 — 1859. pag. 21.

[2]) In einer Reihe von Aufsätzen im Arch. für Anat. und Phys. Jahrgang 1859. (Besonders abgedruckt als „Myologische Untersuchungen.")

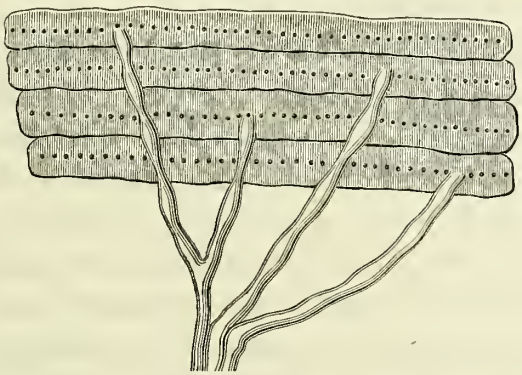
fahrungen sprechen ebenfalls auf das Entschiedenste gegen Schiff. Bei all unsern Versuchen umfasste die Zuckung stets den ganzen Muskel, sie war eine totale und trug durchaus den Charakter einer neuromuskulären. Sie müsste demnach die gleiche Bedeutung haben, gleichviel ob der Reiz direct auf den Muskel oder aber auf den Nerv einwirkt; in beiden Fällen wäre der letztere die Ursache der Zuckung und deshalb auch ein gleicher Verlauf derselben zu erwarten gewesen. Aber wir wissen, dass solches nicht der Fall ist; wir haben gesehen, dass während die Contractionswelle nach einem Nervenreiz sich überall gleichzeitig erhob, sie nach einem Muskelreiz von der primär afficirten Stelle aus fortschritt; ja es ist uns sogar gelungen, eine solche fortschreitende Bewegung selbst nach Nervenreiz zu erzeugen, wenn wir nur dafür Sorge trugen, die Nerven der einen Muskelhälfte ausser Thätigkeit zu setzen. Wir fügen noch hinzu, dass das Verhalten in diesen beiden Fällen genau übereinstimmt mit jenem von solchen Muskeln, die durch Vergiftung mit Pfeilgift ihrer Nervenfasern beraubt waren. Den grossen Unterschied in den innern Vorgängen der Zuckung bei gleichbleibender äusserer Physiognomie wird gewiss Niemand in Abrede stellen. Es muss sich die Idee erheben, dass in dem einen Falle der Reiz durch den Nerv nach allen oder wenigstens nach vielen Punkten des Muskels sich erstreckte, während in dem andern eine solche Uebertragung unterblieb. Nichtsdestoweniger sehen wir die Formveränderung nie local beschränkt, vielmehr immer über das ganze Muskelindividuum ausgedehnt. Auf einem andern Wege als durch die Muskelsubstanz selbst hindurch ist solches gewiss nicht möglich. Wir haben es folglich auch nicht mit einer neuromusculären, sondern mit einer wirklichen idiomusculären Zuckung zu thun, die freilich von der gleichnamigen Erscheinung Schiff's gar sehr sich unterscheidet. Aus diesem Grunde betrachten wir auch die mitgetheilten Zahlengrössen als den Ausdruck der Geschwindigkeit, womit die Muskelmoleküle sich verschieben. Jede Aenderung

derselben ist uns ein Beweis, dass die Muskelsubstanz selbst eine Umwandlung erlitten habe. Ermüdung und gewisse Gifte wirken nachtheilig ein, während dagegen Curare seinen Angriff auf das Nervensystem beschränkt. Eine Bestätigung findet Letzteres auch in der Erfahrung, dass der zeitliche Verlauf der Muskelcontraction bei vergifteten Muskeln nur nach indirectem, nicht aber nach directem Reize sich ändert (v. Bezold a. a. O.). Jeder feindliche Einfluss vermindert die Beweglichkeit der kleinsten Muskeltheilchen; die Masse wird gleichsam zäher, endlich ganz unbeweglich. Es erfordert das Gesagte, dass die Muskelsubstanz fähig sei, eine ihr mitgetheilte lebendige Bewegung in sich selbst fortzupflanzen, dass sie demnach auch auf äussere Einflüsse hin eine solche Bewegung ohne Zwischentreten anderer Glieder zu erzeugen vermöge, mit anderen Worten, es ist eine besondere Muskelirritabilität Nothwendigkeit. Zu demselben Resultat ist in neuerer Zeit auch Kühne auf ganz anderm Wege gelangt. Wir wollen indessen einen Einwurf nicht übergehen, den man gegen unsere Erklärungsweise machen könnte. Es lässt sich nämlich die Behauptung aufstellen, dass auch innerhalb des Sarkolemms Nerventheile vorhanden seien und dass diesen die Fortpflanzung der Zuckung zuzuschreiben sei. Soll damit etwas gewonnen werden, so ist die Annahme unerlässlich, dass solche Nerventheile continuirlich durch das ganze Muskelrohr sich hindurch erstrecken. Ist dies nicht der Fall, so ist auch eine totale Gestaltsveränderung der Muskelfaser, wie wir sie nach localem Reize haben eintreten sehen, eine Unmöglichkeit, da eine Wirkung in distans durch eine leitungsunfähige Strecke hindurch gradezu eine Ungeheuerlichkeit ist. Wir wollen darauf kein Gewicht legen, dass die schärfste anatomische Untersuchung nichts Derartiges zeigt; bessere Methoden könnten andere Resultate ergeben. Auch hat ja in der That Kühne[1]) etwas Aehnliches beschrieben, indem er die centralen Kernreihen in den Primitivbündeln von

[1]) A. a. O. pag. 575.

Käfermuskeln als directe Fortsetzungen der Nervenfaser nach ihrem Durchtritt durch das Sarkolemm auffasst. Wir können hier diesen Punkt nicht näher besprechen; wir haben aber bereits an einem andern Ort [1]) zu beweisen gesucht, dass diese Bilder mit den Nerven nicht das Geringste zu thun haben, sondern nur Entwicklungsformen der Muskelfaser selbst darstellen. Wir wollen annehmen, dass ein solcher continuirlicher Nervenstrang in der That durch das Innere des Primitivbündels sich hinziehe (Figur 9) und nach aussen mit einer einzigen oder aber mit mehreren Primitivröhren in Verbindung stehe. Es

Figur 9.



muss zugegeben werden, dass sämmtliche Erscheinungen mit Hilfe dieser Hypothese sich erklären lassen, wenn wir nur annehmen, dass diese letzten Nervenausbreitungen ganz andere Eigenschaften besitzen, als die Nervenstämme selbst. Vom Curare dürfen sie nicht afficirt werden; den empfangenen Reiz müssen sie mit verhältnissmässiger Trägheit, deren Ausdruck wir in den gefundenen Zahlen zu suchen hätten, fortpflanzen. Aber zur Erklärung der Contractilität der Muskelsubstanz reicht diese Hypothese noch nicht einmal hin; denn wenn die Muskelsubstanz den Reiz nicht fortzuleiten vermag, so muss, um die Verkürzung zu ermöglichen, ein jedes Muskeltheilchen mit einem

---

[1]) Ueber die Beziehungen der Faserzahl zum Alter des Muskels. Zeitsch. für rat. Medizin. III. Reih. Bd. 14. pag. 182.

Nerventheilchen in directem Zusammenhange stehen. Solches ist bei der gegebenen Anordnung der Dinge nicht der Fall; denn es lagert noch immer eine verhältnissmässig dicke Schicht von Muskelstoff zwischen Sarkolemm und Nervenelement, durch welche der Einfluss des letztern sich hindurchzuwinden hätte. Soll unsere Hypothese daher genügen, so bleibt uns nichts anderes übrig, als eine feine Vertheilung der Nervensubstanz durch die ganze Dicke der Muskelsubstanz anzunehmen und eine Verbindung je eines Muskelmoleküls mit einem Nervenmolekül zu postuliren. Damit wären wir glücklich auf denselben Standpunkt zurückgekehrt, den, wie wir in der geschichtlichen Einleitung besprochen haben, bereits Hamberger und Borelli eingenommen hatten; den Einfluss beider Substanzen aufeinander würden wir uns freilich heutzutage anders denken. Dieses Gemisch müsste dann wieder alle die Eigenschaften bezitzen, welche dem centralen Nervenstrange nothwendig sind. So hätte man sich allerdings vor der Annahme einer besondern Muskelirritabilität gesichert, allein unserer Ansicht nach gehörte viel Feindschaft gegen letztere und grosser Heroismus dazu, um einem so verzweifelten Auskunftsmittel sich in die Arme zu werfen. Jedenfalls wäre Schiff's idiomuskuläre Contraction dann vollends ein Räthsel, und der Ausdruck Muskelsubstanz selbst nicht viel mehr als eine Phrase. Auf den Inhalt der Sarkolemmschläuche dürfte er nicht ohne weiteres angewendet werden. Das Geschraubte der vorgetragenen Theorie noch weiter auseinanderzusetzen können wir uns ersparen. Wir wenigstens halten es für viel einfacher und natürlicher, zuzugeben, dass die Muskelmoleküle einen Reiz fortzupflanzen vermögen, als darauf zu beharren, dass solches nur durch ihre Verbindung mit Nervenmolekülen, die im Grunde genommen doch keine Nervenmoleküle mehr sind, möglich sei. Deshalb schreiben wir auch die geschilderten sowohl direct als indirect nachgewiesenen Contractionswellen der Muskelsubstanz selbst zu. Der Anstoss dazu liegt in äussern Gründen; wir betrachten es als unwesentlich, ob der Reiz vom Nerven, oder

von einem chemischen oder von irgend einem andern Mittel ausgegangen sei. Schon Bowmann[1]) kam bei der Erforschung der von ihm entdeckten wellenförmigen Contraction an isolirten Muskelfasern auf die Vermuthung, dass sie unabhängig von einem unmittelbaren Nerveneinfluss entstehen möchten.

Wir haben der Muskelsubstanz ein Fortleitungsvermögen des empfangenen Reizes zuerkannt; es ist von Wichtigkeit zu untersuchen, an welcher Stelle im Leben dessen Uebertragung stattfinde. Leider lässt uns die directe Beobachtung, worauf wir eigentlich zunächst angewiesen sind, fast vollständig im Stich. Wir wissen nur, dass die Nervenröhren an das Sarkolemm herantreten und dasselbe wohl auch durchbohren; das erstere kann ich für den Frosch an mit Salzsäure vollständig isolirten Muskelfasern bestätigen. Wie sie mit dem Sarkolemminhalt selbst in Verbindung stehen, wissen wir nicht. Dass keine ausgedehnten Endapparate erforderlich sind, haben wir oben zu zeigen versucht. An wie vielen Stellen Nerv und Muskel zusammenhängen, darüber fehlen ebenfalls genauere Erfahrungen. An und für sich würde eine einzige Verbindung (wie Figur 9 es schematisch darstellt) genügen, da eine Contractionswelle stets die ganze Länge eines Muskelfadens durchläuft. Indessen ist, abgesehen von mehrfachen Beobachtungen, die ein gegentheiliges Verhalten constatiren,[2]) solches schon deshalb nicht wahrscheinlich, weil durch Abtragen des grössten Theiles eines Muskels die zurückgebliebene Partie den Nervenreiz nicht weniger energisch beantwortet.[3]) Offenbar könnte dies nicht der Fall sein, wenn jede Muskelfaser nur Eine Nervenverbindung besässe. In dem kleinen rückständigen Muskelstückchen könnten deren nur wenige enthalten sein; es könnten

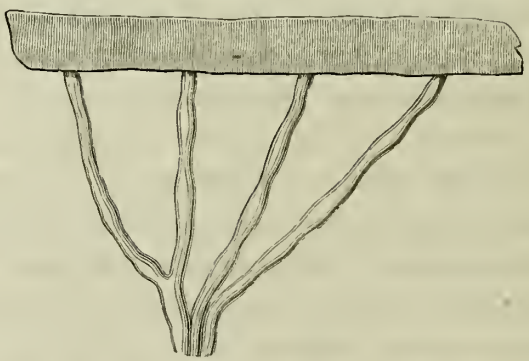
[1]) A. a. O. pag. 494. Such contraction may engage a few such particles only, or the whole fasciculus, may oscillate from end to end, without occurring at any special situations or intervals, and may be independent of immediate nervous co-operation.

[2]) Kölliker, Mikroskopische Anatomie. II. 1. pag. 239.

[3]) Kühne, a. a. O. pag. 577.

daher auch nur einzelne Fibrillen zucken, da eine directe Uebertragung eines Reizes von Muskelfaser zu Muskelfaser so wenig möglich ist als von Nervenfaser zu Nervenfaser. Wir dürfen deshalb als gewiss annehmen, dass ein Zusammenhang zwischen den erregenden und erregbaren Partien an mehreren Stellen stattfinde, etwa so, wie es die Figur 10 in schematischer Weise darstellt; auch ist es denkbar, dass die Endigungen entweder einer einzigen oder aber verschiedenen Nervenfasern angehören.

Figur 10.



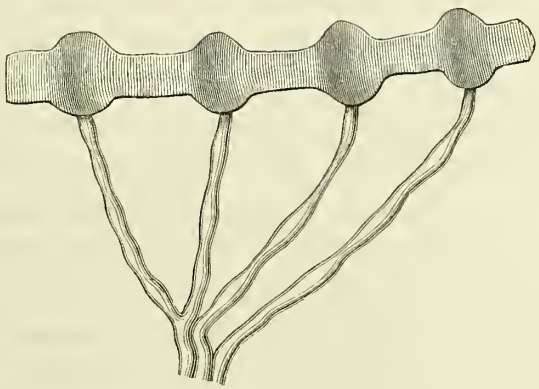
Bei der Gleichzeitigkeit, mit der, wenigstens unter normalen Verhältnissen, der Reiz alle Nervenröhren durchsetzt, kommt solches nicht in Betracht. Schon Kölliker (a. a. O. pag. 239) gibt an, dass ein Muskel oft auf lange Strecken der Nerven ganz zu entbehren scheine und von Kühne (a. a. O. pag. 568) ist in neuerer Zeit den Muskelenden, wenigstens beim Sartorius, ein Gehalt an solchen sogar gradezu abgesprochen worden. Dem sei übrigens wie ihm wolle, so ist doch so viel sicher, dass Nervenfasern und Muskelfasern nicht überall zusammentreffen; auch ist solches, wie schon vor langer Zeit Fontana[1]) behauptete, zur Contraction gar nicht nothwendig.

Es darf a priori angenommen werden, dass die Gestaltsveränderung des Primitivbündels immer da beginne, wo der Reiz zuerst eingewirkt hat; wir haben es überdies durch die

[1]) F. Fontana, Abhandl. über das Viperngift. Berlin. 1787 pag. 393.

ganze Reihe unserer Untersuchungen factisch erwiesen. Es muss daher auch ein Muskelfaden in Folge eines Nervenreizes immer an all den Punkten sich zu contrahiren beginnen, wo er dem letztern zugänglich ist. Die erste Phase stellt sich dann nothwendig so dar, wie Figur 11 sie wiedergibt, als eine grössere oder geringere Anzahl von Contractionswellen, zwischen denen die übrigen Partien des Muskelfadens noch in vollkommener Ruhe verharren. Weiter wird sich die Sache grade so

Figur 11.



entwickeln, wie wir sie oben an den Muskeln niedriger Thiere direct zu beobachten vermochten. Die höchste Stelle kehrt zur ursprünglichen Gleichgewichtslage zurück, während der Wulst nach beiden Seiten fortläuft und mit dem benachbarten zusammenstösst. Wir haben also immer zwei in entgegengesetzter Richtung verlaufende Wellenreihen, von denen ich nicht zu sagen vermag, wie sie sich einander gegenüber verhalten, da ein solcher Fall nie direct von mir beobachtet wurde. Möglich dass sie, wie Schiff[1]) will, sich gegenseitig durchkreuzen. Es ist also klar, dass wir auch hier nicht von einer gleichzeitigen Contraction der ganzen Muskelfaser, sondern nur von einem gleichzeitigen Beginnen derselben an verschiedenen Punkten sprechen dürfen. Nichtsdestoweniger musste bei unsern obigen Versuchen

[1]) A. a. O. pag. 26.

mit Nervenreizung bei jeder Anordnung des Muskels eine gleichzeitige Hebung der Hebel erfolgen, da die Angriffspunkte der Nerven auf die einzelnen Muskelfibrillen nicht in regelmässigen Querreihen angeordnet, sondern unregelmässig durch die ganze Masse des Muskels hindurch vertheilt sind, mithin in jedem Querschnitte primäre Contractionswellen erzeugt werden müssen. Freilich kann, strenggenommen, nicht von einer absoluten Gleichzeitigkeit im Beginn der Contraction an verschiedenen Punkten der Faser gesprochen werden, da ja auch innerhalb der Nervenfaser der Reiz einer gewissen Zeit zu seinem Weiterrücken bedarf und er demnach zu den entferntern Punkten je nach der Länge der zu durchlaufenden Nervenstrecke später als zu den nähern gelangen wird. Indessen ist bei der Geschwindigkeit, womit die Fortpflanzung im Nervenrohr vor sich geht, der Unterschied ein so geringer, dass er die Grenze der mit unserer Methode verbundenen Fehlerquellen nicht überschreitet, also auch nicht in Betracht kommen kann. Für diese ganze Anschauungsweise ist der früher mitgetheilte Versuch der Zuckung nach partieller Nervenzerstörung von wesentlicher Bedeutung, weil er uns den directen Beweis liefert, dass in der That ein Fortschreiten der Contractionswelle von den Nervenenden aus stattfindet. — So erklärt es sich denn auch, weshalb bei unvergifteten Muskeln die durch locale Reizung an dem einen Ende erzeugte Zuckung sich anders verhält, als die, welche der Nervenreizung ihren Ursprung verdankt. Sie kann nicht wie die letztere auf mehrere Punkte vertheilt werden und dadurch an mehreren Stellen gleichzeitig beginnen; die von Kühne[1]) behauptete doppelsinnige Leitung kommt nicht in Betracht, da durch sie der Reiz nur auf die Stelle, von der er ausging, zurückgeleitet werden müsste. Ob das Curare auch auf die letzten Nervenenden einwirkt, kann begreiflicherweise auf dem von uns betretenen Wege nicht entschieden werden. Diese ganze Frage möchte aber wohl sehr an Interesse ver-

[1]) A. a. O. pag. 595.

lieren, seitdem so viele andere Thatsachen für eine besondere Muskelirritabilität sprechen.

Wir haben oben die Ansicht ausgesprochen, dass der erste Erfolg nach Nervenreizung in der Erhebung einzelner Wülste zu suchen sei; dadurch wird als secundäre Erscheinung die Verkürzung der ganzen Faser bedingt. Ob mit der Stärke des Reizes die Ausdehnung des Wulstes eine grössere, demnach auch durch Umfassen einer grössern Strecke der Muskellänge die Contraction eine beträchtlichere werde, oder ob letzteres nur auf einer raschern Aufeinanderfolge der Contractionswellen beruhe, lässt sich nach unsern jetzigen Kenntnissen noch nicht endgiltig entscheiden. Es scheint, dass mit der erstern Annahme zugleich eine Zunahme der Fortpflanzungsgeschwindigkeit verbunden sein müsste, was wir wenigstens innerhalb gewisser Grenzen nicht zu bestätigen vermochten. Vor der Hand sind wir daher eher geneigt, von der Reizungsstelle fortwährend neue Wellen entstehen zu lassen, als deren Summirung dann die Contraction zu betrachten ist. Von der Geschwindigkeit, womit jene entstehen, wird die Grösse der letztern abhängen. Im günstigsten Falle reihen sie sich so dicht aneinander, dass die Zwischenräume verschwinden und eine scheinbar continuirliche Verkürzung entsteht. Daher würde es auch nicht gegen diese Anschauungsweise sprechen, wenn an ganz frischen lebenskräftigen Muskeln solche Wellen nicht beobachtet werden. Mit der Ermüdung und dem Absterben ist ihre Entstehung eine weniger rasche und dann fällt es bekanntlich nicht schwer, die einzelnen Wellen auseinanderzuhalten. — Interessant wäre es zu wissen, wie sich der verkürzte Muskel bei seiner Verlängerung verhält, zu erfahren, ob die Rückkehr zur ursprünglichen Gleichgewichtslage an allen Stellen gleichzeitig vor sich gehe, oder aber ob sie ebenfalls von gewissen Punkten aus sich ausbreite. Directe Versuche habe ich keine angestellt, doch möchte ich, gestützt auf die oben mitgetheilten mikroskopischen Beobachtungen, annehmen, dass die Erschlaffung an der Eintrittsstelle der Nerven oder, um es allgemein auszudrücken, an

der primären Reizungsstelle beginne. Wir haben diese ruhen sehen, während die Welle weiterschritt; die Erschlaffung selbst findet ihre nächste Ursache darin, dass die gereizte Stelle aufhört, neue Wellen auszusenden. — Endlich können wir nicht umhin, noch auf eine Beziehung aufmerksam zu machen, die möglicherweise zwischen der Raschheit der Wellenerzeugung und der Form der Muskelcurve existirt. Bekanntlich ist weder das Ansteigen noch das Abfallen der letztern ein gleichmässiges; vielleicht, dass darin zum Theil ein Ausdruck für die verschiedene Energie liegt, womit im Verlaufe der Muskelzuckung die Wellen entstehen. Mit Bestimmtheit möchte ich es jedoch nicht behaupten.

Wir müssen schliesslich noch einmal auf die idiomusculäre Zuckung von Schiff zurückkommen. Aus allem Bisherigen geht hervor, dass wir eben so wenig wie Kühne und Andere der Anschauungsweise ihres Entdeckers beitreten können. Zwar hat er ganz recht, wenn er den Wulst als idiomusculär, d. h. als der Muskelmasse selbst angehörig, auffasst; er hat aber unrecht, wenn er in den davon ausgehenden Wellen neuromusculäre Bildungen sieht. Nur die schon oben besprochenen und verworfenen Hypothesen eines Nervenapparates innerhalb des Sarkolemms könnten solches erklären; die Nervenröhren selbst vermögen es nicht. Daher sind denn auch nach unserer Ansicht die Wellen nicht weniger idiomusculär als der Wulst selbst; sie sind Gestaltsveränderungen, die in der contractilen Substanz von Querschnitt zu Querschnitt fortgepflanzt werden. Sie verhalten sich ja auch genau wie die Wellen, die wir als jede Zuckung nach localem Reize begleitend factisch erwiesen haben. Sie unterscheiden sich von jenen nur dadurch, dass sie als einzelne Bildungen sichtbar aufgefasst werden können, während jene zu einer einheitlichen Contraction zusammenschmelzen. Dass dies kein wesentlicher Unterschied sein kann, geht schon daraus hervor, dass beide unter günstigen Verhältnissen die Rollen zu tauschen vermögen. Was auch immer das Wesen des idiomusculären Wulstes sein mag, es liegt in ihm offenbar die Ur-

sache eines Reizes, der den nächsten Muskelquerschnitt in Contraction versetzt. Aber der Reiz ist nicht stark genug, um, wenigstens gegen das Ende der Erscheinung zu, eine continuirliche Wellenreihe zu erzeugen, ähnlich wie auch an den Insectenmuskeln unter dem Mikroskope zwischen den einzelnen Wellen Ruhepunkte von längerer oder kürzerer Dauer sich einschalten. Daher das bekannte Wellenspiel. Warum in dem Wulste die Welle so lange stehen bleibt, das wissen wir freilich nicht. Ob Kühne's Auffassung, der sie auf Ermüdung zurückführt, ganz zur Erklärung hinreicht, müssen künftige Erfahrungen nachweisen. Darin freilich hat er gewiss Recht, dass die Substanz an der betreffenden Stelle beträchtlich modificirt ist. Den besten Beweis dafür liefern uns die davon ausgehenden Contractionswellen. Für die Erscheinung selbst möchte ich die Bezeichnung der stehenden Muskelwelle empfehlen.

Es erfordert die consequente Durchführung unserer Theorie, dass wir die durch Schiff eingeführten Ausdrücke der idiomusculären und neuromusculären Zuckung durchaus fallen lassen. Eine jede Zuckung, von welcher Seite her sie auch immer mag erregt worden sein, ist eine rein idiomusculäre, insofern durch den äussern Anstoss die Muskelsubstanz als solche in Bewegung gesetzt wird. Ob der Reiz von einem Nerv oder von einem mechanischen Instrument, von einem elektrischen Strom oder von einem chemischen Agens ausgeht, ändert an der Hauptsache nichts; die Modificationen im Gang, wie sie durch eine verschiedene Zahl von Angriffspunkten entstehen, sind unwesentlicher Natur. Demnach kann auch der Ausdruck neuromusculär nicht als ein Gegensatz von idiomusculär gebraucht werden. Wollte man ihn beibehalten, so dürfte darunter nur der Fall verstanden werden, wo der Nerv als Reizmittel wirkt. Mit demselben Rechte müsste dann aber auch eine mechanomusculäre, eine galvanomusculäre und chemicomusculäre Zuckung aufgestellt werden. Durch Classicität und richtige Bildung würden sich freilich diese Bezeichnungen nicht auszeichnen. An und für sich ist jeder Name überflüssig. Wollte man aber, aus praktischen

Gründen der Bequemlichkeit, wirklich besondere Ausdrücke, um zu bezeichnen, ob ein Muskel durch sein natürliches Agens, den Nerven, oder aber durch ein fremdes Agens, sei es ein mechanisches, galvanisches oder chemisches, in Thätigkeit versetzt worden sei, so würde ich dafür neurogen und allogen vorschlagen. Immerhin aber hätten wir uns dabei zu erinnern, dass es sich nicht um zwei an und für sich verschiedene Dinge, sondern um ein und denselben, aber auf verschiedene Weise veranlassten Vorgang handelt.

INHALT.

Seite

Vorwort 7

I. Einleitung 9

II. Methode der Untersuchung 16

a. Construction des Apparates . . . . . —

b. Gebrauch des Apparates 27

III. Resultate 35

a. Mit Curare vergiftete Muskeln . . . . . —

b. Unvergiftete Muskeln 45

α. Directe Reizung der Muskelfaser 46

β. Indirecte Reizung der Muskelfaser durch den Nerven . . 48

c. Wirkung einiger Gifte 51

α. Upas Antiar 52

β. Veratrin 53

γ. Cyankalium 54

d. Versuche an der Schildkröte und am Kaninchen 55

e. Dickencurve des Muskels 56

f. Ort der Reizung in der Muskelfaser bei Anwendung von Kettenströmen 58

IV. Schlussfolgerungen 61

VERBESSERUNGEN.

Seite 14. Zeile 13 von oben. Durch ein Versehen ist hier Rudolphi als einer von denen angeführt, welche die Contractionswelle unter dem Mikroskope verfolgt haben. Aus der angeführten sowohl als noch aus einer andern Stelle geht mit Bestimmtheit hervor, dass er nur makroskopische Oscillationen und Erzitterungen, die dem Muskel eigenthümlich sein sollen, vor Augen hatte.

Seite 24. Fig. 6. Der Querbalken zwischen ζ und ζ' sollte wie in Fig. 7 mit η statt mit w bezeichnet sein.

Seite 25. Zeile 20 von oben. Statt secundäre Spirale soll es heissen primäre Spirale.

Seite 26. Fig. 7. Zwei der Schrauben sind verkehrt gezeichnet. Ihre richtige Stellung ergibt sich leicht aus dem Zusammenhange.

Seite 30. Zeile 12 von oben steht fälschlich sous-ilio-fémoral statt sous-ilio-tibial.

Seite 30 in der Anmerkung liess Planche VII. 152 statt Planche VII. pag. 152.

In demselben Verlage erscheint binnen Kurzem:

EINE NEUE METHODE

ZUR

BESTIMMUNG DER SCHÆDELFORM

VON

MENSCHEN UND SÆUGETHIEREN.

MIT 8 LITHOGRAPHIRTEN TAFELN UND 19 IN DEN TEXT EINGEDRUCKTEN HOLZSCHNITTEN.

VON

DR. CH. AEBY.